النسخة الإلكترونية
القاهرة 2014

هندسة الوقاية في الدوائر والنظم الكهربية

الحماية بالمرحلات

أ. د. محمد محمد حامد
جامعة بورسعيد

2014

المحتويات

بسم الله الرحمن الرحيم

مقدمة

انطلاقا من الواجب الوطني نحو المساهمة في إحياء المكتبة العربية كضرورة لتقدم الأمة علي النطاق الهندسي توجهت نحو تأليف هذا الكتيب من أجل خدمة أبناء الوطن العربي وخصوصا الطلاب منهم في واحد من أهم المجالات الهندسية تقدما، فالكتاب يتعامل مع تقنيات المبادئ الأساسية بشكل مبسط عن موضوع الوقاية في النظم الكهربائية وهو بذلك يسهم بشكل كبير في رفع مستوى القارئ الذي لا يعلم عن الموضوع إلي مستوى تقني عالي يستطيع معه التعامل مع أعقد الدوائر في ميدان الوقاية في الشبكات القومية والدوائر الكهربائية بشكل عام.

الكتاب يشمل عددا من الفصول يصل إلي تسعة وكل فصل منهم مستقل إلا أنه ينبغي علي القارئ الذي يتعامل مع هذا التخصص أن يعيد قراءته مرة ثانية بعد تلك الأولي لأنه سوف يكتشف الكثير من النقاط التي كانت غير ملموسة في أول مرة. المقصود بأنها غير ملموسة أن القارئ قد لا يعير هذه النقطة أو تلك أهمية ويعتبرها كلمات عابرة ولكنها في الحقيقة كلمات مؤثرة داخل هذا المجال الهندسي الهام خصوصا وأن الموضوع متشابك ومتداخل في كل فصوله في الكثير من النقاط الجوهرية، كما أنه من الهام التنويه عن أهمية النظرة الموضوعية وبأسلوب مركز حيث يبتعد الأسلوب هنا عن الإطالة بل ويتجه في أغلب الأحيان إلي التلخيص والتركيز.

يتعامل هذا الكتيب مع موضوع الحماية في الشبكات الكهربائية القومية ككل وهذا ما يضفي علي الشرح الوارد الصبغة الشمولية للفهم، أما بالنسبة لموضوع الوقاية في المناطق المحدودة مثل المصانع أو الشركات الإنتاجية أو الورش أو حتي مع الأدوات والأجهزة المنزلية ففهم هذا المحتوي يزيد ويرفع من مستوي القاريء مع ما يهتم به من موضوعات بسيطة ومحدودة بالنسبة لما يذكر هنا. من هنا يفيد الكتاب المهندسين والمتعاملين مع مثل هذه الأجهزة المنزلية مثل الثلاجات والغسالات والمحركات وغيرهم من الأجهزة سواء من ناحية التشغيل المقنن أو من ناحية الصيانة.

نظرا لأن الموضوع العام في هذا الكتيب يحتاج إلي الشرح بصفة مركزة في كثير من الأحيان فقد توجه الكتيب إلي إضافة عددا من الأمثلة العددية التي تزيد من التوضيح والشرح كي يتعامل معها المهندس والطالب علي السواء مما يساعد علي تبسيط الموضوع الذي يتناوله الكتاب. إضافة إلي ذلك فقد تم تخصيص الباب الأخير للمسائل والتمارين ونماذج بعض الإمتحانات للتدريب علي كيفية التعامل حسابيا مع هذا المجال.

يصلح هذا الكتيب لكل من طلاب الدراسات العليا في مجال هندسة القوي الكهربائية إضافة إلي مهندسي الكهرباء الراغبين في تخصص الوقاية وكذلك يكون معينا لمهندسي تشغيل المحطات الكهربائية محولات أو توليد وهو مفيدا للطلاب في كليات الهندسة والتكنولوجيا والمعاهد الهندسية العليا والمعاهد الفنية ومعاهد التحكم الآلي لما تمثله المادة العلمية في هذا الكتاب من قيمة ذات مغزي تفيد مهندسي التحكم، خصوصا عند التعامل مع المتحكمات قابلة للبرمجة. كما يمثل الكتاب بشكله المعروض والطريقة العلمية الموجودة دليلا وافيا لطلاب المدارس الفنية المتقدمة والصناعية ويهديهم إلي الطريق السليم في الإطلاع علي باقي المراجع والكتب في هذا التخصص، وهذا الكتاب بما يحتويه من مفهوم هندسي ما هو إلا دليلا مؤكدا علي قدرة الله سبحانه وتعالى وأن القدرة الإلهية تفوق كل تصور وقد ذكر الله سبحانه وتعالي في كتابه الكريم

بسم الله الرحمن الرحيم

{{ولقد تركناها ءاية فهل من مدكر}}

صدق الله العظيم

المؤلف

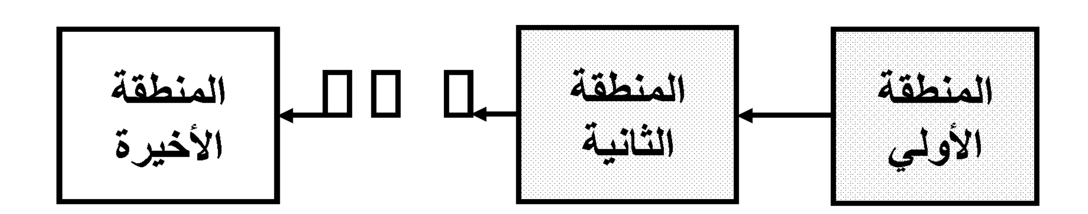
الشبكات الكهربائية
ELECTRIC NETWORKS

تعتبر الشبكة الكهربائية خلية حيوية مثل جسم الإنسان فهي خلية نشطة متحركة بصورة ديناميكية وتعمل علي كافة المحاور وبثبات درجة حرارة الجسم البشري وقوة ضغط الدم للإنسان وغير ذلك من المعاملات الطبية اللازمة لتحديد ما إذا كان الجسم سليما أم لا، وهكذا أيضا تكون تلك الخلية الحيوية المتمثلة في الشبكة الكهربائية عاملة بطريقة سليمة تبعا للمعاملات الطبية الهندسية في هذه الحالة. وكما يسيطر علي الجسم الآدمي الجهاز العصبي (المخ والأعصاب) تحتاج تلك الخلية إلي جهاز عصبي يسيطر علي كل المعاملات الصحيحة للتشغيل وهو ما يعرف باسم أجهزة الوقاية في الشبكات الكهربائية ، وهذا الجهاز يقوم بعزل المناطق المريضة فيها ويعطي من التحاليل والبيانات ما يكفي لتحديد مكان الخطأ ونوعيته وهو ما يعادل الأشعة والتحاليل الطبية لتحديد مكان الألم (الخطأ) أو علاج العيب مباشرة سواء بالعلاج المباشر جراحيا (تغيير معدة) أو بالإصلاح البسيط (الصيانة) عند اللزوم. نري أن العمل الوقائي أهم من العلاج وهي العبارة الشهيرة في مجال الطب وهو ما يجب الأخذ به عند تصميم الشبكات والدوائر الكهربائية وأثناء أدائها للعمل المنوط به.

مثل ما تعرضنا للتشبيه بالإنسان فنزيد من تواجد المكونات المختلفة داخل الشبكة الكهربائية كي تعطي نفس النمط البشري في الجهاز فنجد مضخة القلب ترسل الدم إلي كافة أطراف الجسم وبالمثل تقوم محطات التوليد بضخ الكهرباء (مثل الدم) إلي جميع أطراف الشبكة الكهربائية حيث المستهلك، وكما تنقل الأوردة والشرايين الدم فنجد الحاجة لوجود خطوط نقل الطاقة الكهربائية من حيث مكان الضخ إلي أطراف الاستهلاك. وهنا قد نحتاج لمحولات قدرة لرفع الضغط ليكون النقل اقتصاديا بجانب الناحية الفنية لأسس النقل الكهربائي وبالتالي خفضه مرة أخري إلي الحد المطلوب عند الاستهلاك، وكل هذه العمليات تتم تحت رعاية الجهاز العصبي وهو هنا أجهزة الوقاية.

مع الفارق الكبير بين طبيعة الجسم البشري خليقة الرحمن والشبكة الكهربائية المبتكرة عن طريق الإنسان نجد ضرورة هامة لتوافر بعض الضمانات الأساسية مثل الأمان والتكلفة في جميع مراحل الشبكة الكهربائية بدءا من الإنتاج فالنقل ثم التوزيع فالاستهلاك والاستغلال ومن ثم نحتاج إلي مزيد من التفصيل لفهم ماهية الأجهزة الوقائية في الشبكات الكهربائية عموما ثم ننتقل إلي الأجزاء الفرعية ذات التخصص الأكثر دقة وهو ما سوف نتبعه في الأجزاء والفصول الواردة في هذا الكتيب.

نجد حدودا فاصلة بين التحكم في الجسم والكشف عن العيوب وتحديدها بينما تعمل في عملها اليومي المعتاد فنري أن هذا أيضا ينطبق علي الشبكة الكهربائية حيث يلزم التحكم في بعض المعاملات سواء كان يدويا أو آليا (سواء كان أيضا عن قرب أو من بعد) بينما نجد وسائل الوقاية هي المسئولة عن كشف العيوب والأخطار والتخلص منها بصفة تلقائية وإعطاء الإشارة المناسبة لكل حالة كنوع متقدم من التحليل للبيانات والتي تماثل الأشعة والتحاليل الطبية للإنسان.



الشكل رقم 1-1: نظام المناطق المتتابعة

1-1: تقسيم المناطق بالشبكات DIVISION OF NETWORKS

عادة تتشكل الشبكات الكهربائية في دولة ما من عدد من الشبكات الصغيرة جدا والتي قد تكون غالبا من مستهلكين في موقع ما ولكن مع النمو السكاني تزداد هذه الشبكات الصغيرة وتنوعت وأصبحت غالبا غير قادرة علي التحكم فيها، ومن ثم ظهرت الحاجة إلي ربط هذه الشبكات الصغيرة معا في شبكة واحدة وهذه الشبكة المجمعة تصبح المسماه "الشبكة الكهربائية الموحدة".

علي الجانب الآخر نبدأ اليوم في التعامل مع الشبكة القومية كوحدة واحدة مما يستدعي تحليل هذه الشبكة الكبري إلي جذورها أو إلي ما يمكن أن نسميه أجزاء لهذه الشبكة القومية. بناء علي هذا الوضع ندخل في موضوع التقسيم عند التعرض إلي الشبكات الكهربائية الضخمة حيث أننا نحتاج إلي التعامل معها في أجزاء متنوعة تبعا لنوعية التقسيم ثم مع المجمل أجزاءا أو شاملا مع مراعاة الدقة عند التعرض للأجزاء هذه وبذلك تظهر الحاجة إلي تقسيمها إلي مناطق بسياق محدد ومنها النظم التالية:

أولا: مناطق متتابعة Sequential Zones

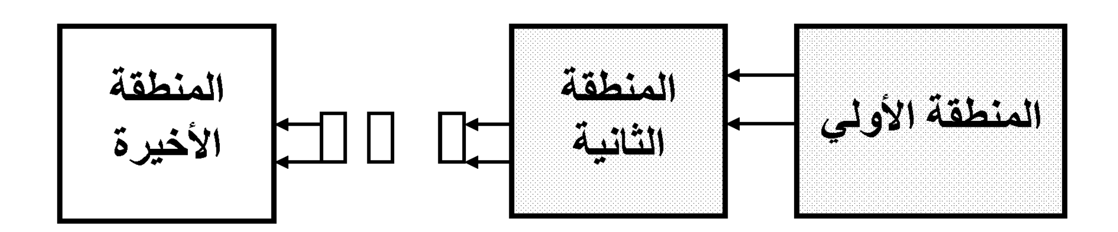
بالرغم من ضرورة وأهمية ربط الشبكات معا بحيث تعطي في النهاية شبكة قومية واحدة علي منوال الشبكة الدولية للمعلومات والمعروفة باسم الأنترنت ولكن علي القياس الوطني، بينما نجد من الممكن أن تتنوع هذه المناطق من حيث الربط في ما بينها كهربائيا وذلك علي النحو الآتي:

1- وحيدة بنقطة التلامس Single Connection

هي بالصورة الموضحة في الشكل رقم 1-1.

2- مزدوجة نقاط التلامس Double Point Connection

إنها تأخذ الشكل الموزع كما جاء في الشكل رقم 1-2.



الشكل رقم 1-2: نظام المناطق المتتابعة مزدوجة التلامس

3- متعددة نقاط التلامس Multi Point Connection

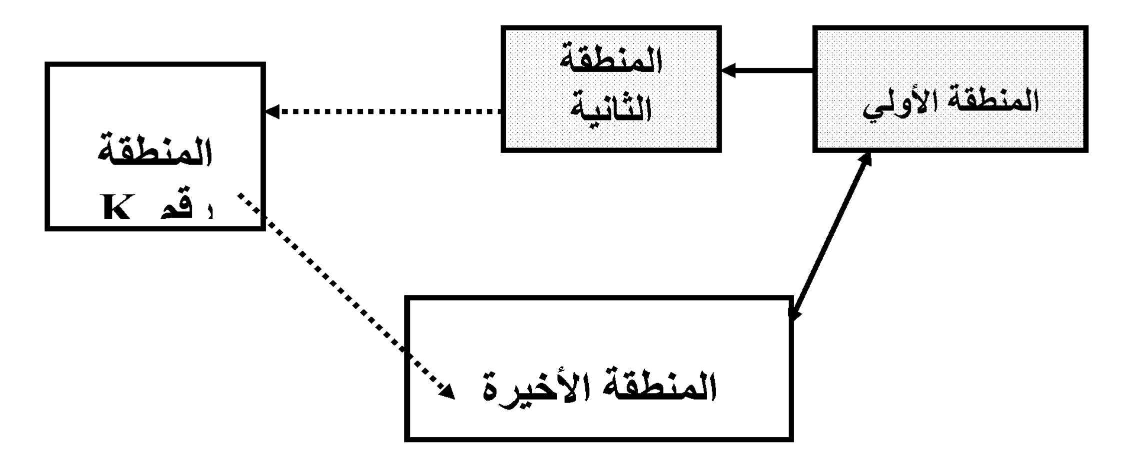
هي مثيلة لتلك الواردة في الشكل رقم 1-2 مع العديد من نقاط التغذية بدلا من التوصيل المزدوج بين المناطق. ذلك يعني أن نقاط التلامس (النقاط المشتركة) بين المناطق متعددة أو أكثر من نقطتين، مما قد يعود بالتغييرات المتاحة في سريان الطاقة بالشبكة الكهربائية بينهم.

ثانيا: مناطق حلقية Ringed Zones

هذه المناطق تتنوع في الأنماط التالية:

1- مناطق مغلقة Closed Zones

هي كما نراها في الشكل رقم 1-3 حيث نجد الترابط متتالي ومنتهيا عند المنطقة الأولي بحيث لا يمكننا تحديد أي منهم الأولي بصفة دائمة.



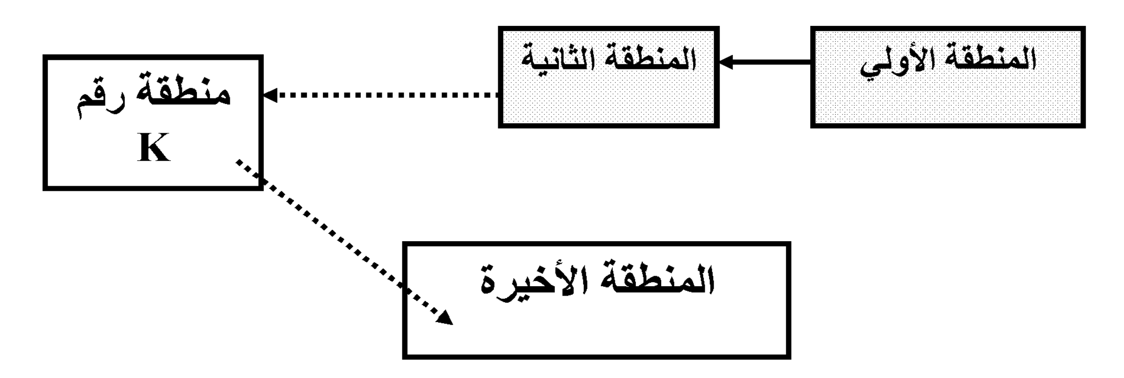
الشكل رقم 1-3 : نظام المناطق الحلقية المغلقة

2- مناطق مفتوحة Opened Zones

هي مثل السابقة تماما ولكن لا تنتهي المنطقة الأخيرة عند الأولي بل ويتعذر أن يتحدد معها المنطقة الأولي أو الأخيرة بصفة دائمة وبشكل واضح بخلاف ما كان في النظام السابق (الشكل رقم 1-4).

ثالثا: مناطق متداخلة Interfered Zones

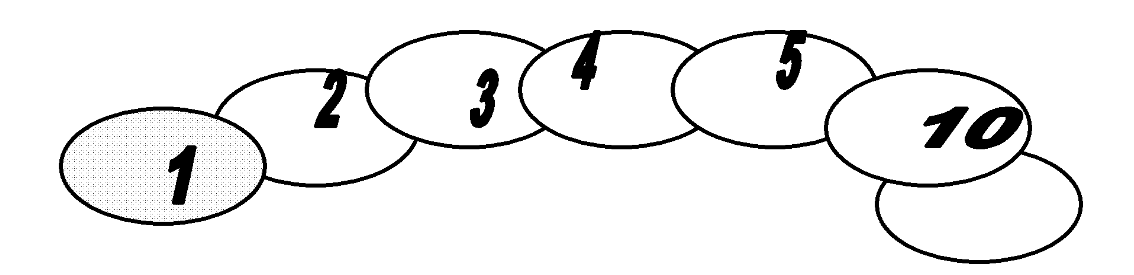
من حيث المبدأ لا يمكن أن تتواجد شبكة وطنية موحدة في شكل تسلسلي، أي أن الشبكة تأخذ من نقطة إلي التالية كما لو كانت دائرة كهربائية موصلة علي التوالي. ذلك هو ما يجعلنا نتعامل مع شبكة كهربائية (دائرة كهربائية) متشابكة، ولذلك نجد أنه لا يمكننا تقسيم الشبكة إلي مناطق مستقلة بسهولة مما يستوجب وضع بعض الشروط لها. ومن الجهة الأخري نستطيع ان نحدد هذه المناطق بصفة أولية في الصور التالية:



الشكل رقم 1-4 : نظام المناطق الحلقية المقترحة

1- مناطق بدرجة تداخل واحدة Single Degree of Interference

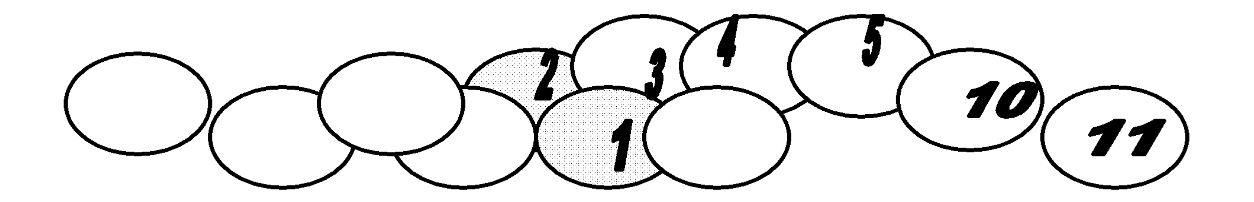
يمثل الشكل رقم 1-5 ذلك الوضع الهندسي المتتابع لنقاط التداخل حيث يبين أن المنطقة رقم 1 (منطقة تغذية كهربية) تشترك مع المنطقة التالية مباشرة فقط بطريقة تداخلية وهي المنطقة رقم 2، وتتكرر الفكرة ذاتها حتي المنطقة رقم 5 وهي التي تشترك في نقطة واحدة مع المنطقة السابقة رقم 4 بينما تشترك مع المنطقة التالية في رقم 6 في نقطة واحدة إلي ان تصل إلي آخر منطقة في المنظومة ككل.



الشكل رقم 1-5: مناطق متداخلة بدرجة واحدة

2- مناطق بدرجات تداخل عديدة Multi Degree of Interference

من هذا المسمي (الشكل رقم 1 – 6) نجد أن التداخل بين المناطق المتلاصقة قد يأخذ أشكالا عدة فقد يكون بلا تداخل (مثل المناطق 11 أو تلك في اليسار بالشكل مثلا) في بعض الأماكن وقد يكون بدرجة واحدة فقط (مثل المناطق رقم 5 ، 10) - أو بأكثر من درجة (مثل المناطق رقم 1، 2، 3 في الشكل 1-6).



الشكل رقم 1-6: مناطق متداخلة

2-1: مراكز التحكم DISPATCHING CENTERS

يمكن الاعتماد علي مركز التحكم كجهة محددة ومسئولة عن الأداء وتحليل البيانات ومركزا لاتخاذ القرار مما يضعها علي قمة المواقع الإدارية داخل الشبكة الكهربائية ككل ويمكننا أن نضع أنواعا متباينة من هذه المراكز علي النحو التالي:

أولا: مركز تحكم وحيد Central Type

أنه مركز وحيد يسيطر علي كافة الأمور الفنية والصيانة وجدولة التحميل وكل ما يخص الشبكة الكهربائية في كل أجزائها، غير أن مثل هذا العمل يحتوي علي الكثير من الأعمال إذا ما أصبحت الشبكة ضخمة مثل ما توجد في الشبكة القومية الموحدة بمصر أو الأخرى في ليبيا وشبكة الأردن أو الشبكة الموحدة في أوروبا أو تلك النواة الأولي للشبكة الكهربائية الموحدة العربية وهي تلك الشبكة العربية التي تعمل فعلا بين كلا من مصر وليبيا وتونس ومعهم الأردن وهي ما أظهرت العديد من المزايا المشجعة التي تحفز هذه الدول لرفع مستوي الجهد عند الربط وغير تلك الشبكات والتي تتواجد فعليا مثل الشبكة الكهربائية الموحدة للإتحاد السوفيتي السابق. لذلك يكون من الصعب إتباع هذا النظام فيها، وتصلح هذه النظم في الشبكات الكهربائية الصغيرة وذات الجهود القليلة بحيث يسهل علي المركز هذا التحكم فعلا في كافة الأعمال في الزمن القصير المطلوب لها.

من الجهة الأخري يمكن تخصيص مركز تحكم مركزي للقراءات والحسابات المالية الناتجة عن تبادل الطاقة بين الدول المشتركة في شبكة دولية موحدة.

ثانيا: مراكز تحكم متعددة المناطق Multi Zones Type

نحتاج إلي هذا الأسلوب عندما يضيق وقت المتابعة والتنفيذ علي المركز الوحيد خصوصا وأنه أفضل الأنواع عندما يسمح له وقت الأداء بذلك ولذلك يكون البديل هو نظام توزيع المسئولية (إستيراتيجية اللامركزية)، كما أن هذا الأسلوب يكون جوهريا مع الشبكات الكبري أو الشبكات الكهربائية الوطنية والقومية الموحدة. من هذا المنطلق أو بالمعني الأصح تقليل عبء العمل عليها بتوزيع الأدوار فيما بين هذه المناطق التي يتم تحديدها مسبقا وهذه بدورها تتفرد في محورين هما:

المحور الأول: مراكز تحكم متعددة مستقلة Independent Zones Type

حيث تستقل كل منطقة بعيدا عن غيرها ولا يحدث أي تداخل بينها سواء من جهة الاختصاص أو التعامل الفني والهندسي بها ويمكننا وضع نوعين منها هما:

النوع الأول: مراكز تحكم تبعا للجهد
Voltage Dispatching Centers

يمكن تقسيم هذه المراكز تبعا للجهود خصوصا وأنه من الناحية الفنية تتنوع الشبكات الكهربائية بهذه الصفة وبشكل رسمي وواضح ولكل منها المواصفات المحددة لها فتصبح هذه المراكز كما يلي:

1- مركز تحكم للشبكات الرئيسية Main Networks Center

تختص هذه المراكز بالجهد الأقصى في الشبكة الكهربائية ككل من أطرافها إلي أقصاها دون أية اعتبارات فنية كانت أو إدارية مثل الجهد 500 – 220 ك. ف. في مصر أو 220 ك. ف. في ليبيا والمقترح لجهد الربط 400 ك. ف. بين ليبيا ومصر وتونس، كما يوجد مركز تحكم مركزي بمدينة طرابلس في ليبيا، ويصبح عبء توصيل الطاقة من مراكزها إلي الشبكات الكهربائية الأقل جهدا علي عاتقها. كما أن هذا النظام قد تم تنفيذه في جمهورية مصر العربية في بداية العمل علي شبكة السد العالي وظل النظام يعمل بكفاءة عالية نتيجة التخصص في الجهد مما قد يعود علي حماية العاملين علي هذا الجهد من خطر الإهمال الذي قد يقع فيه أحد العاملين.

2- مركز تحكم لشبكات الجهد العالي HV Network Center

تتبنى هذه المراكز الخطوط ومحطات المحولات التي تعمل علي هذا الجهد مثل 220 – 132 – 66 ك. ف. في مصر مثلا وحتى أطراف الجهد التالي وهو جهد التوزيع والذي عادة يصل إلي 11 أو 22 ك. ف.

3- مركز تحكم للجهد المتوسط MV Network Center

هي مراكز توزيع الطاقة علي المشتركين والمصانع والجهات الواقعة في دائرة الاختصاص وتعمل علي الجهد 66 أو 33 أو 22 ك. ف.

4- مركز تحكم للجهد المنخفض Distribution Network Center

يبدأ التوزيع الفعلي من الجهد 11 ك. ف. حيث تصل به حتى الجهد 380 / 220 فولت وفي بعض الأحيان إلي الجهد 110 فولت. كما يمكن أن يتم تقسيم هذه نقاط التحكم في توزيع الطاقة الكهربائية إلي نوعيات مختلفة تنحصر في إتجاهين مثل الأحمال العامة مثل إنارة الشوارع مثلا وغيرها إلي جانب الأحمال المنزلية في أغلب الأحيان.

النوع الثاني: مراكز تحكم محلية Local Centers

تقوم عمليات التقسيم عموما علي فلسفة هندسية مؤكدة ومنها تلك الصفة التي تتعلق بالمنطقة المساحية للشبكة الكهربائية وفي ذات الوقت بما يخضع للمواصفات الفنية الهامة والأساسية كي يكون التقسيم ملائما، وتلك المساحية تتنوع تبعا لطرازين كما يلي:

1- مراكز تحكم للمناطق الفنية Technical Zones Centers

تنقسم المناطق بأسلوب نقاط التوصيل فيما بينها كي نمنع التداخل بين المناطق ويتبع ذلك نقاط التوصيل المختلفة لتكون المحك بينها ويكون التلاقي والاتفاق واضحا خصوصا إذا ما كانت مستقلة كشركات مستقلة الإدارة أو الشخصية الاعتبارية فيجعل التعامل بينهم واضحا دون لبس (إزدواجية المسئولية).

2- مراكز تحكم للمناطق الإدارية Administrative Zones Centers

هذا التقسيم يعتمد علي سهولة العمل الإداري لأنه يتفادي التداخل الاختصاصات وبالتالي تزداد الصعوبة علي المسئول مما قد يخل باتخاذ القرار السليم، ومن أهمها المناطق الحدودية بين الشبكات الكهربائية المتجاورة والمتصلة معا في شبكة كهربائية موحدة ولذلك نجد منهجين للتوصل إلي ذلك كما يلي:

(أ) التقسيم الإداري داخل الشركات Administration Classification

تعمل هذه المراكز علي الجزء من الشبكة داخل النطاق الإداري والخاص بالعمل في الشركات المستقلة معا والتي تتجاور من جهة التوصيل الكهربائي ويمكن أن يسحب هذا الكلام واستيراتيجية المنهج أيضا علي الشبكات الكهربائية القومية المرتبطة سويا مثل الربط بين تونس وليبيا ومصر والأردن وتكون مسئولة عن العمل في هذا الحيز والذي يتميز بالسهولة لأنه يتبع جهة واحدة دون غيرها، وبالتالي يتم العمل دون عائق أو مشكلات قد تكون بعيدة تماما عن عمل مركز التحكم.

(ب) التقسيم الإقليمي داخل الدولة
State Classification

في بعض الحالات يكون النظام الإداري لكل الشركات أو الهيئات العاملة بالدولة تابعا للتقسيم الإقليمي مثل المحافظات في مصر وبهذا يسهل التعامل مع الأجزاء إذا ما خضعت لذات التقسيم العام للهيكل الوظيفي والفني بها، وبهذا يكون هذا النظام الأكثر ملاءمة عن غيرة لما ينتج عنه من بساطة في تحديد الاختصاصات وسهولة وسرعة في الأداء حيث أن هذه المراكز عليها عبء التنفيذ الفوري دون أي تأخير وإلا ستهبط قيمة الإعتمادية بالشبكة وهو ما ينقص من المستوي الفني لهذه المراكز. كما تسهل هذه المهمة تماما في حالة ما إذا كانت هذه الشركات عبارة عن شركة واحدة كما هو الحال في ليبيا.

المحور الثاني: مراكز تحكم متعددة مختلطة
Mixed Multi Zones

عندما تتداخل الشبكات الكهربائية بكل أنواع التقسيم السابق الإشارة إليها يصبح العمل صعبا بأي من النظم المذكورة لمراكز التحكم وبالتالي يكون علينا التوجه إلي ازدواجية العمل المنهجي ومن ثم نتبع التقسيم بأي من الطرق المشار إليها بجانب ذلك النوع المركزي والذي يكون منسقا لهم ويقع عليه عبء نقاط التداخل فيما بينهم بجانب عمله كما لو كان يخص الشبكات الرئيسية كي يضمن سلامة أداء الشبكة الكهربائية ككل وهذه المراكز تصلح في الشبكات الضخمة وكذلك في حالات الربط الكهربائي بين الشبكات القومية المختلفة مثل الشبكة الكهربائية العربية الموحدة الوليدة ومثل الشبكة الأوروبية الموحدة وتلك الشبكات المنتشرة في شمال آسيا، وهي أيضا التي تعريف باسم مراكز متعددة للمناطق غير المستقلة مع مركز تحكم مركزي **Central / multi Zones Type.**
علي الجانب الآخر ومع الربط الكهربائي الحالي بين الدول المتجاورة من الدول العربية يكون من الهام إنشاء مركزا للتحكم من أجل الربط بينهم ويكون مسئولا عن فرعين هما:

الأول: الأداء الفني وتبادل الطاقة
Technical Performance

يقوم هذا المركز بعمليات التوصيل والفصل المطلوبة تلبية للطاقة المطلوبة من الجهات المختلفة مع تأمين سريان الطاقة أثناء ذلك وهو عمل هندسي لا يرتبط بغيرها من الأعمال الاقتصادية.

الثاني: المراجعة المالية لتبادل الطاقة Financial Revision

المراجعة المالية تشمل تكلفة نقل الطاقة الكهربائية من دولة إلي أخري أو من جهة إلي أخري ويقع تحت طائلة هذا الوضع كل الشركات الخاصة بإنتاج وتوزيع الطاقة الكهربائية داخل جمهورية مصر العربية بعد الانتهاء من الخصخصة لها كما تتواجد نفس النوعية من الأعمال هذه في كل من ليبيا والأردن وتونس من أجل المراجعة المالية لتبادل الطاقة الكهربائية لأنه من الممكن أن تكون دولة الوسط هي دولة لنقل الطاقة الكهربائية من دولة في جهة إلي أخرى في الجهة الأخرى فمثلا تنتقل الطاقة الكهربائية من تونس إلي ليبيا ثم إلي مصر وبالتالي تحتسب أولا علي ليبيا ثم تحسب لصالح ليبيا من الجهة الأخرى لانتقالها إلي مصر وهنا تظهر أيضا نقطتين أساسيتين هما:

أولا: تبادل الطاقة وحيد الاتصال Single Point Transfer

مع تبادل الطاقة الكهربائية بين الدول المشتركة في شبكة كهربائية موحدة تكون الحاجة ماسة إلي مركز وحيد إما علي شكل سوق اقتصادية للطاقة أو علي نمط المحاسبة المتبادلة ورقيا وعندما تكون هناك نقطة وحيدة للربط يكون من السهل القيام بهذا العمل من خلال مركز وحيد إلا أنه يفضل فنيا أن تكون متعددة نقاط الربط لرفع معامل الإعتمادية.

ثانيا: تبادل الطاقة متعدد الاتصال Multi Point Transfer

عندما تتزايد نقاط الربط في الشبكة الكهربائية لرفع معامل الإعتمادية (الوثوقية) سواء كانت هذه النقاط بين الدولتين المتجاورتين معا مثل الربط بين كلا من ليبيا ومصر من جهة وكذلك بين مصر والأردن فقط أو بين مجموعة من الدول معا في وقت واحد مثل الربط الرباعي العربي بين مصر والأردن وليبيا وتونس أو كما هو الحال في الشبكة الأوروبية الموحدة، وهذا مما لا يدع مجالا للإهمال أو التغاضي عن الموضوع لأن تبادل الطاقة بين الدول المختلفة يحتاج إلي التنسيق بين النقاط المختلفة للمحاسبة النهائية لتكون مرة واحدة وبالصافي المستحق مباشرة وهنا تظهر أهمية عوامل الاتصالات وشبكة الإنترنت وغيرها من الوسائل المستحدثة حتى نحصل علي خلاصة المستحقات المالية مباشرة، وعادة ما يكون مبرمجا بحزم برمجية جاهزة الطابع.

3-1: نظم الحماية
PROTECTION SYSTEMS

تعتمد نظم الحماية الآلية علي العديد من القواعد والعوامل لأنها تنشد حماية كلا من المعدات العاملة في الخدمة والإنسان سواء المتعامل مع الشبكة الكهربائية بصفة الحرفة والمهنة أو ذلك العابر بالصدفة من خلال أو داخل هذه الشبكات الكهربائية حاملة الجهد الخطر علي حياة البشرية في حالات الخطأ، لهذا ندخل هذا المجال بمقدمة بسيطة وصولا إلي الغرض الهام من التقنيات المختلفة المستخدمة في هذا الميدان وكي نتفهم المرور المرحلي لتطور هذه الصناعة الجوهرية والتي لا غني عنها عند التعامل مع الشبكات الكهربائية بشكل عام.

هكذا كان من الواجب أن نتجه مباشرة إلي بعض الحدود الأساسية والهامة في التعامل مع وسائل الوقاية الآلية المتنوعة وماهيتها وكيفية استخدامها في الشبكات الكهربائية من أجل تحسين مستوي الأداء بالشبكة الكهربائية من أجل زيادة معدلات التميز في شبكة عن غيرها أو في موقع ما دون غيره، وتزداد أهمية هذا الموضوع مع الحركة الدولية الحديثة والتي تعتمد علي استيراتيجية الربط بين الشبكات الكهربائية القومية المتجاورة وهو ما يتيح لنا إلقاء الضوء علي المعايير اللازمة له ومدي التغير الذي سيصاحب هذه التغيرات الدولية وشبكاتها الكهربائية.

من هنا يلزم وضع بعضا من الأنواع الهامة لمعني الحماية الآلية (التلقائية) بشكلها العام والخاص بما فيه من دقائق الأمور للتصرف الخاص في جزء ما من الشبكة لندرك مكمن أساليب الوقاية اللازمة في الشبكات الكهربائية.

(أ) حماية شاملة OVERALL PROTECTION

تخضع الحماية الشاملة للتصنيف التالي:

أولا: أخطاء هندسية وفنية Engineering Faults

تتباين هذه الأخطار الناتجة عن العمل الهندسي أو الفني من حيث درجة الخطورة فمنها ما هو عالي الخطورة ومنها ما هو بسيطا، كما أن هذه الخطورة قد تقع علي النفس البشرية وقد يتأثر بها بل وقد تودي بحياته. من الناحية الثانية تتنوع هذه الخطورة إلي عددا من الأنواع:

1- الحرائق Fires
2- التسرب الإشعاعي Radiation
3- تواجد الغازات الضارة Hurting Gases
4- الخروج عن مدي التحميل الفعلي للمعدة Out of Loading
5- العيوب المواكبة للأخطاء في التصميم Design Defects

ثانيا: أخطاء بشرية Human Faults

من حيث أن التعامل في الشبكات الكهربائية يعتمد علي إما الإنسان أو المعدات فتقع مسئولية الأخطاء علي كاهل الإنسان في بعض المحاور وهي التي تتفرع من هذه الأخطاء لتوضع من خلال أسلوبين جوهريين هما:

1- مسئولية إدارية Administrative Responsibility

هذا النوع يشمل العديد من الأساسيات التنظيمية في العمل وكيفية التعامل مع حالات الطوارئ أو الصيانة بأنواعها المختلفة أو التشغيل ونظم العمل المتبعة فيه وذلك من خلال عددا من الأسس الجوهرية والتي تتمثل في عددا من النقاط مثل:

أ- التدريب المستمر Continuous Training

يعتبر التدريب المستمر من أهم العناصر التي تساعد علي رفع معامل الإنتاجية والمتمثل بتغطية النواحي الفنية والتقنية عموما بجانب التأكيد عليها من الناحية التسلسلية أو التي قد تظهر أنها بيروقراطية ولكنها في الحقيقة معاملا هاما تأمينا لحياة العاملين قبل المعدات والأجهزة. كما أن هذه التدريبات تساعد العاملين علي الإلمام بأحدث التقنيات الهامة علي الساحة في مجال التخصص.

ب- الالتزام بقواعد الأمن الصناعي
The Instructions for Industrial Safety

ج- ضرورة الإشراف المباشر Direct Supervision

د- المتابعة الدائمة سواء للعاملين أو للمعدات والمحطات Continuous Revision & Inspection

2- أخطار ميدانية Field Dangers

غالبا تأتي الأخطار في الموقع بشكل مفاجئ وهو ما يحتاج إلي التنظيم المسبق في العمل، بمعني أن توضع الاحتمالات منذ البداية والتوقعات المتلاحقة، ولذلك نجد أن هذه النوعية من الأخطار تحتاج إلي المزيد من المساعدات فمنها:

1- أجهزة الإنذار السمعية والضوئية Alarm Devices
2- خلق مسارات لتسرب التيار Earth Pathes
3- عزل المواد المشتعلة عن الهواء Air Isolation
4- منع التشغيل الخاطئ Interlock
5- التأريض قبل إجراء أية أعمال ميدانية Earthing
6- الحماية الميكانيكية Mechanical Protection
7- التشغيل عن بعد Remote Control

ثالثا: أخطار طبيعية Natural Dangers

تتمثل هذه الأخطار من الكوارث الطبيعية أو حتى تلك المخاطر التي تتبع التعامل مع المعدات والمحطات وتوضع المعايير الهندسية لهذا النمط في عدد من النقاط المحددة علي الوجه الآتي:

1- الزلازل Earthquakes

من المعروف أن الزلازل تضيف حملا ديناميكيا قاسيا علي كل ما هو موجود علي سطح الأرض بما فيها الجبال والمباني وغيره متضمنا تلك التركيبات الكهربائية علي مستويات الجهد المختلفة مثل شبكات التوزيع أو خطوط النقل أو المحطات الكهربائية مثل محطات المحولات والتوليد والتوصيل وكذلك الربط الكهربائي. هكذا يلزم وضع مواصفات قياسية قاسية لمواجهة أحمال الزلازل العالية ديناميكيا تبعا للمواصفات القياسية الدولية، ولذلك يجب أن يلتزم المهندس والمصمم بإتباع كود الزلازل عند التصميم حماية للمعدات المختلفة ومن قبلها حماية الأفراد القريبين من تلك المعدات مما يعود علي رفع قيمة إعتمادية تشغيل الشبكة ككل.

2- الرياح والعواصف والعجاج Storms

هي تلك الأحمال الديناميكية التي يجب أن تؤخذ في الاعتبار تأثير هذه الظواهر الطبيعية (الرياح والعواصف والعجاج) عند التصميم سواء في المحطات أو الخطوط الهوائية وما يلزمها من ووضع نقاط تثبيت للعوازل أو مثقلات وزن لخفض التذبذب كما في الخطوط علي كافة الجهود العالية والفائقة وغيرها وتزداد أهمية هذا البند في المناطق التي تتعرض لها بصفة مستمرة ولفترات طويلة.

3- الصواعق Lightning Strokes

بالرغم من عدم تواجد الصواعق في منطقتنا العربية إلا أنه يلزم وبالضرورة القصوي تبعا لنظم التصميم الهندسية أن يتم وضعها في الحسابات الهندسية وذلك عن طريق تركيب مانعات الصواعق علي القضبان والخطوط الهوائية والملفات عموما لتلك المعدات والمهمات في الشبكة مثل المولدات والمحولات وغيرهم.

(ب) حماية إدارية ADMINSTATIVE PROTECTION

تحتاج الأعمال الإدارية إلي نوع خاص من التعامل الجاد والصارم والأخذ بتعليمات الأمن الصناعي والسلامة المهنية دون أي تراجع أو تقصير أو إهمال وخصوصا تلك النقاط التالية:

1- منع دخول الأفراد إلي الموقع

2- التصريح فقط لأفراد مدربين محددين

3- عدم إعادة التوصيل إلا بعد التأكد من خروج الجميع من موقع العمل

4 - التأكد من الموقع ذاته بعد أنتهاء العمل وإخلائه من العاملين وقبل إعادة التوصيل إلي الشبكة

5- تحديد وتسوير المكان مع إتباع تعليمات الأمن الصناعي بكل دقة

6- الإشراف المباشر

7- التأكد من عدم وجود خطورة قبل البدء في العمل

8- المراجعة بعد الإشراف

9- التدريب المستمر علي التقنيات المستحدثة

10- التدريب المتخصص لجميع العاملين في مجال التخصص

(ج) حماية فنية TECHNICAL PROTECTION

تتم الحماية الفنية لتلافي حدوث أية أضرار للمعدات والأجهزة العاملة بالشبكة الكهربائية ويمكن أن نوجز هذا الضرر في محوريين مثل:

أولا: أضرار ناجمة عن زيادة التيار الكهربائي Current

إن ارتفاع التيار الكهربائي عن الحدود المقننة يعتبر من الأصرار التي قد تودي بالمعدات العاملة بالشبكة الكهربائية وهذه النوعية قد تتسبب في ضرر في اتجاهات متباينة ومن ثم نعرض ما يتفرع إليه:

1- طاقة حرارية Heat Energy فوق المعدلات المقننة (سخونة)

هذه الطاقة الحرارية تتسبب في أحد الحالتين:

(أ) قطع الأسلاك والموصلات أي أن الزيادة في التيار كبيرة ولفترة طويلة قأدت إلي إنصهار المعدن الموصل للتيار وهو ما يكون قد أصبح مصهرا فيتوقف التيار عن المرور بالدائرة الكهربائية.

(ب) حرق العزل تدريجيا وتخميره وفقدان الخواص الكهربائية ويصبح موصلا (لا عازل) للكهرباء فيحدث قصر بالدائرة.

2- طاقة ميكانيكية Mechanical Energy

الطاقة الميكانيكية العالية قد تتسبب في كسر المكونات الداخلة في الشبكة وخصوصا أجزاء التثبيت للمعدات والأجهزة التي تتعرض لمثل هذا القدر من الأحمال الميكانيكية.

ثانيا: أضرار ناجمة عن الجهد الكهربائي Voltage

الأضرار الناجمة عن زيادة الجهد الكهربائي من الناحية الفنية قد تتباين من حيث النمط أو الشكل، وعلي وجه العموم فإنها قد تتسبب في عدد من الأخطاء الفنية التي تضر بالتأكيد بكفاءة الشبكة أو قد يصل الضرر بتدمير معدة ما سواء تدميرا كليا أو جزئيا، ونوجز أهمها:

1- فصل كهربائي مؤقت Emergency interruption

هذه النوعية من الفصل تحدث عادة لعيب قد يكون طفيفا كما هو الحال في الكابلات الكهربائية عند زيادة الأحمال بها مما يؤدي إلي كسر نقاط الضعف داخل العزل فتتحول هذه النقاط العازلة إلي موصلة كهربيا بصفة مؤقتة.

2- كسر كهربائي Electric Breaking

الكسر الكهربائي يعني انهيار العزل تماما مما يعني أن العزل أختفي تماما من حول الموصلات الحاملة للتيار والتي عليها جهد، ولهذا السبب يتم في هذه الحالة فصل دائم للطاقة الكهربائية من الشبكة إلي أن تتم أعمال الصيانة المطلوبة.

1- 4: مبادئ الوقاية الآلية PROTECTION BASICS

يتم تصنيف نظم الوقاية في الشبكات الكهربائية إلي نمطين جوهرين هما:

الأول: الوقاية الأساسية Main Protection

الشكل رقم 1 – 7 يقدم الدوائر الأساسية في شبكات الجهد العالي وإرتباطها بالدوائر المختلفة في دوائر الوقاية ومن ثم يكون جليا لنا أن دوائر الوقاية تعتمد علي عددا من الدوائر المختلفة وهي متباينة، كما أن هذه الوقاية تعتمد بشكل جوهري علي ثلاث صور من الدوائر الكهربائية المتباينة في الشكل أو المقنن وهي:

1- الدائرة الأولية Primary Circuit (الدائرة أ- ب)

2- الدائرة الثانوية Secondary Circuit (الدائرة 2)

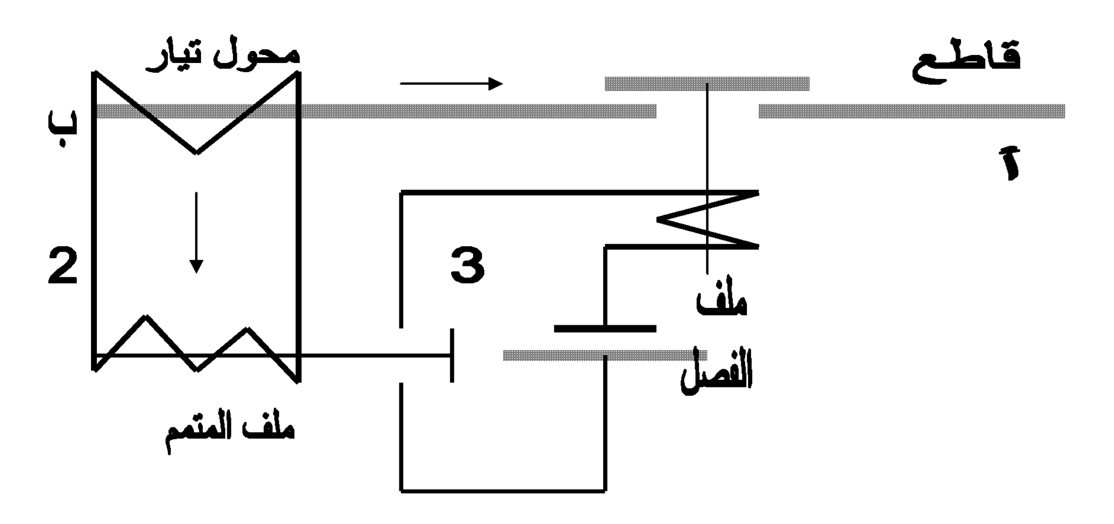
3- دائرة الفصل التلقائي Tripping Circuit (الدائرة 3)

يعرض الشكل رقم 1-7 الرؤية العامة لهذه الدوائر الثلاث المتتالية في دائرة وقاية توضيحية وهي جميعها أساسية لأداء الفصل عند أي قياس لزيادة التيار في الشبكة الكهربائية الأصلية. إضافة إلي ذلك قد يكون القياس للجهد من خلال محول الجهد بنفس النمط الموجود بالشكل رقم 1 – 7.

الثاني: الوقاية الاحتياطية Back Up Protection

تعتمد هذه الوقاية الاحتياطية علي احتمال عطل (عدم أداء عملية الفصل المحددة) أي من مكونات دائرة الوقاية الأساسية أو مفتاح الفصل للدائرة نفسه **circuit breaker** المنوط به عملية الفصل وهو ما يجعل هذه الوقاية هامة لدرجة كبيرة وكلما كانت مستقلة **independent** تماما عن دائرة الوقاية الأساسية كلما كان معامل الاعتمادية ***reliability*** أفضل. كما أن هذه الوقاية تمثل الوقاية المكتسبة للجسم بينما الوقاية الأساسية تعبر عن المناعة الطبيعية للجسم فتظهر أهميتها لرفع كفاءة نظم الوقاية للشبكة الكهربائية، كما أن الوقاية الإحتياطية لا يستخدم في الشبكات والدوائر الكهربائية وحيدة التغذية ***unit schemes*** مثل شبكات التوزيع الكهربائية حيث لابد من الاعتماد علي أسلوب الفصل متدرج الزمن ***time graded*** بينما تظهر أهمية الوقاية الاحتياطية مع شبكات الجهد العالي والفائق بشكل ملحوظ.

تقوم نظرية الوقاية الإحتياطية علي نظام التأخير الزمني للفصل عن ذلك المحدد للوقاية الأساسية ويجب أن يكون محول التيار **current transformer** منفصلا تماما عن دوائر الوقاية الأساسية بجانب أنه من الأفضل أن يكون هناك مغذي للقدرة بالتيار المستمر **DC Supply** بعيدا عن مصدر الطاقة للوقاية الأساسية إلا أن هذا الشرط مكلف للغاية ويمكن التراجع عنه في أغلب الأحيان، أما محول الجهد **Potential Transformer** فيمكن إشراك كلا من النمطين فيه ولكن مع استخدام المصهر علي الملفات الثانوية لكل منهما لتكون الدائرتين مستقلتين بقدر الإمكان بشرط أن يكون فصل المصهر مزودا بأسلوب الإنذار عند فصله أو عند حدوث خطأ ما، كما يوضع مصهر مستقل علي المتمم المساعد **auxiliary relay** في الدائرة. نتناول المبادئ العامة للوقاية الآلية في السطور التالية.



الشكل رقم 1-7: دوائر الوقاية الأساسية

أولا: المتممات (المرحلات) Relays

تعمل المتممات بنظم شتى فمنها ما هو معاصر ويعمل بآليات حديثة ومنها ما هو قديم منذ أن ظهر التيار الكهربائي ولذلك نجد أنها تنضم إلي أجيالا متباينة بالرغم من أنها جميعا تعمل جنبا إلي جنب حيث نجد أن مراحل التطور في أجهزة الوقاية إلي أربعة أجيال هي:

الجيل الأول: الأجهزة التأثيرية والكهرومغناطيسية Electromagnetic Type

في هذا الجيل كان الاعتماد علي وسائل القياس التقليدية لتحديد القيمة اللازمة لتحريك أدوات الفصل في دوائر الوقاية وكان زمن هذا الأداء كبيرا لتواجد الأجزاء الميكانيكية المتعددة والمتتابعة للتعامل الآلي وقد أصبح هذا النوع قديما إلا أنه مازال متواجدا علي الساحة ويعمل بشكل جيد في بعض المناطق التي لا تهتم بالفصل السريع.

الجيل الثاني: المتممات بالدوائر المتكاملة Integrated Circuits

بدأ العمل بهذا النظام مع التقدم العلمي في مجال الدوائر الإلكترونية المتكاملة والأجهزة الخبيرة Expert systems وظهورها في المجال الصناعي فتحولت العمليات الآلية (الميكانيكية والتي تحتاج إلي الزمن الطويل لحركة بعض الأجسام لنقل التأثير الذي يحتاج إلي فصل الدائرة) إلي نوع كهربائي من خلال الدوائر الكهربائية المتكاملة، وتداخل متممات الجيل الثاني مع تلك الموجودة في الجيل الأول وحدث التلاحم بينهما ليكمل كلا منهما الآخر.

الجيل الثالث: الحاسوب بدوائر الوقاية Computerized Protection

بعد انتشار الحاسب الآلي بشكل كبير وتطور النظم الخبيرة سواء من خلال البرامج software أو الدوائر الكهربائية hardware التي تعمل بها أصبح التعامل مع الحاسب الآلي computer بشكل مباشر في عمليات الفصل التلقائي أمرا ميسورا بل وضروريا وقد رفع من مستوي كفاءة العمل في هذا المجال.

الجيل الرابع: أسلوب التكيف في الحزم البرامجية Adaptation

بعد العرض السريع للأجيال الأربعة من مرحلات الوقاية علي دار التاريخ السابق نتوجه إلي تنوع المتممات في شكل فصائل مختلفة وهي ما يمكن تصنيفها كما يلي:

الشكل الأول: التصنيف تبعا لنظرية التركيب Construction

تنقسم المتممات إلي أنواع عدة بطرق مختلفة فهنا بالنسبة لنظرية تركيب المتمم وعمله نستطيع أن نضع هذه المتممات بالتصنيف التالي:

1- النوع الكهرو مغناطيسي Electromagnetic

المرحل الكهرومغناطيسي يكون صالحا لكل من دوائر التيار المستمر DC أو المتردد AC بينما تركيبه يعتمد علي ذراع الحركة الحديدي moving iron داخل المجال المغناطيسي magnetic field والمتولد من تواجد التيار الكهربائي ويعمل غالبا بأسلوب الذراع المتزن balanced beam type ويشمل هذا النوع الذراع الجاذبة بالمجال الكهرومغناطيسي المتولد وهي الذراع المعروفة باسم attracted armature hinged.

2- النوع الإستنتاجي Induction Type

يمثل هذا الطراز (المتمم الأستنتاجي) النوع الأعم والأكثر شيوعا والأوسع إنتشارا وهو يصلح لدوائر التيار المتردد فقط مثل المحركات التأثيرية (الاستنتاجية) induction motors حيث يتحرك المحور وعليه اسطوانة rotor نتيجة للعزم torque المتولد من تباين في الزاوية بين الفيضين flux المؤثرين علي الاسطوانة المحورية.

3- النوع الكهرو حراري Electro-thermal

المرحل الكهروحراري يشكل طرازا هاما عند قياس درجة الحرارة لوسط ممثلا ومعبرا عن درجة حرارة الملفات أو أجزاء هامة بعيدة المنال لقياس درجة الحرارة الخاصة بهذه الملفات ومنها قياس درجة حرارة زيت المحول نيابة عن الملفات مثلا.

4- النوع الفيزيقي – كهربي Physical -electric

يعتمد هذا المرحل علي الظاهرة الطبيعية المصاحبة للحالة الخطرة تحت الحماية والملزمة للفصل الفوري مثل حالة جهاز البوخلز Buchholze المستخدم في وقاية المحولات وهو الذي يعتمد علي ظاهرة التواجد الغازي نتيجة التأين ionization للوسط الموجود في زيوت المحولات داخل وعاء المحول مما يعبر باليقين عن تواجد شرارة مسببة لظهور هذه الغازات المتأينة، إضافة إلي ذلك نجد ظاهرة الإنفجار الداخلي وهو نتيجة توالد الغازات داخل الوعاء (التانك) مثل المحولات علي سبيل المثال مما يصبح هذا التكاثر الغازي خطرا علي الإستقرار ومن ثم يلزم أن يصمم لهذا الوضع صمام أمان مثل ما يتبع تماما مع المحولات عموما.

هناك أيضا التعامل مع الزيادة في الضغط الميكانيكي داخل وعاء المحول وما يشكله من خطورة الإنفجار والضغط يمكن إعتباره ظاهرة فيزيقية أيضا ولزوم تواجد صمام أمان للإرتفاع في الضغط إما بواسطة غلاف إنفجاري في نقطة علي المكان أو بفتح الوعاء أوتوماتيكيا ليتعادل الضغط الداخلي والخارجي مثل ما يتبع مع أواني الطهي بالضغط.

5- النوع الإستاتيكي Static

يعتمد هذا المتمم الإستاتيكي أو الإلكتروني الطابع وهو المتجدد باستمرار بناء علي التطورات اليومية في تكنولوجيا التصنيع – بل وقد تقاس بالساعات - علي المكونات الإلكترونية المختلفة الجديدة والناشئة لأول مرة – مبتكرة – وهي عادة الداخلة في تركيب وتشغيل الدوائر الكهربائية أو الإلكترونية علي وجه التحديد مثل الترانزيستور والصمامات الحرارية thermo-ionic والمكبرات المغناطيسية magnetic amplifiers وكذلك الثايريثتور مؤخرا مع تطبيقاته واسعة الإنتشار بجانب التطور الهائل والسريع في مجال الإلكترونيات عموما.

جدير بالذكر أن هذا التطور في المجال الخاص بالهندسة الألكترونية لا يقف عند وسائل الوقاية فحسب بل يمتد ليطرق جميع أبواب الصناعة وقد شكل هجمة شرسة علي كل الموجودات الصناعية في جميع ميادين الحياه وسوف يصبح أكثر أهمية مع الجديد من الإكتشافات والإبتكارات.

6- النوع الكهرو ديناميكي Electro-dynamic

المرحل الكهروديناميكي يشبه أجهزة القياس measuring instrument بأسلوب الملف المتحرك moving coil كما يفضل أن يتم تصنيف هذه المتممات مع شكل الملامسات contacts الخاصة به فنجد التوزيع علي النحو التالي:

أولا: متممات وحيدة الملامسات Single Contact Relays

عادة يعمل المتمم أو المرحل بناء علي أمر يصدر عن دائرة أخري فيقوم بتشغيل الدائرة التي هو جزء منها وهذا لا يتم إلا من خلال ملامسات حيث يقوم المتمم بتشغيل الملامس المختص بهذه الدائرة عندما تصبح مكهربة آليا وبالتالي يكون مسماه المتمم وحيد الملامس عندما يقوم المتمم بتشغيل ملامس واحد فقط ولهذا يمكن أن ينقسم إلي أنواع متباينة تبعا للوضع العادي للتشغيل بدوره مثل:

1- ملامس مفتوح الوضع Normally Opened Contact

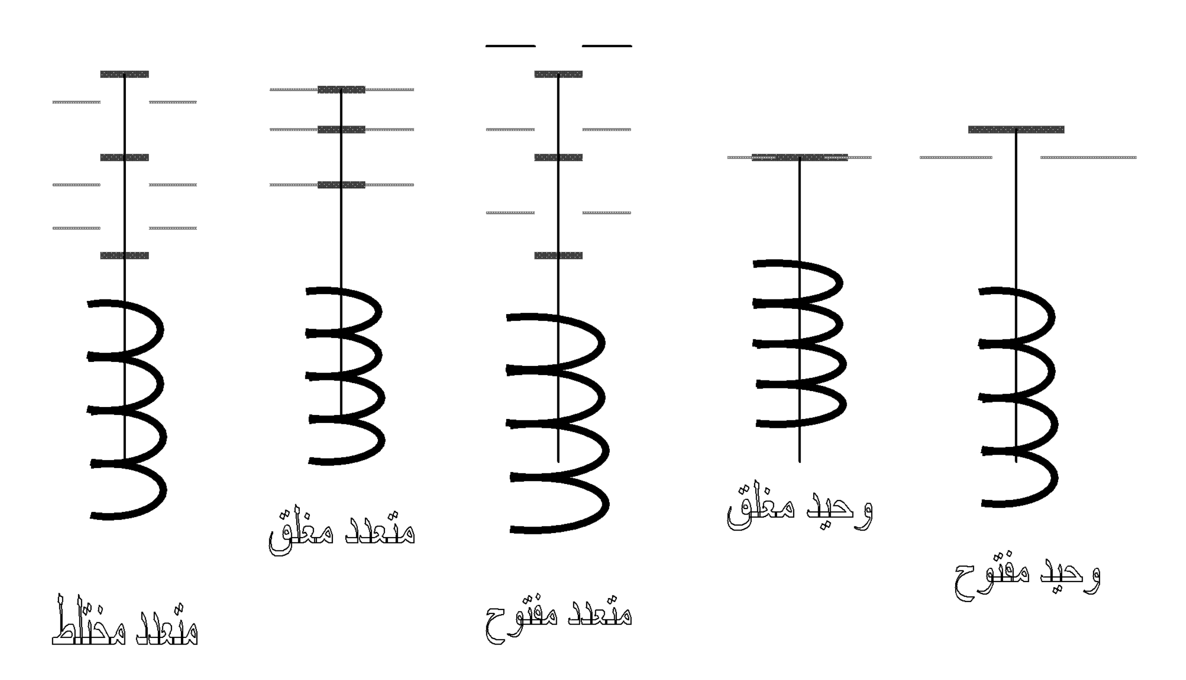
هذه الحالة تعني توصيل الملامس عند حدوث التغير في الوضع المقنن والذي عادة ما يكون مفتوحا ويقفل عند مرور التيار الناتج عن وجود خطأ في الدائرة الأصلية (الشبكة).

2- ملامس مغلق عادة Normally Closed Contact

هذا النوع من الملامسات (المغلق دائما) علي عكس النوع السابق حيث يكون الملامس مقفلا في الوضع المعتاد ويفتح فور مرور التيار أو ظهور الجهد الناتج عن وجود قصر أو خطأ ما في الشبكة الكهربائية.

ثانيا: متممات متعددة الملامسات Multi Contacts Relays

تتباين نوعية المتممات ذات الملامسات العديدة بشكل كبير ويمكن تصنيفها إلي أنواع مختلفة كما نراها في الشكل رقم 1-8 حيث نري منها نفس النوعية السابقة بشكليها المفتوح أو المغلق بجانب إمكانية الخلط بين النوعيتين.



الشكل رقم 1-8: أنواع المتممات بالملامسات

من الجهة الأخري يمكننا وضع موضوع الملامسات Contactor بصورة عامة (الجدول رقم 1 – 1) تبعا للتطبيقات الموجودة فعلا حيث إنها تشمل مقننات ولها نقاط تلامس إحتياطية مقننة سواء كانت نقاط مغلقة أو مفتوحة أو كليهما، ويمكن تعريفها في السطور التالية:

الجدول رقم 1 – 1: مقننات الملامسات ثلاثية الطور 400 ف (3- Pole contactors type LC1-D)

مقنن المحرك	مقنن تيار	(أ) ، حرارة ≥ 55ْم	ملامس إحتياطي	مقنن المحرك	مقنن تيار	حرارة ≥ 55ْم (أ)	ملامس إحتياطي
ك. و.	3 طور	مفرد الطور	مفتوح/ مغلق	ك. و.	3 طور	مفرد الطور	مفتوح/ مغلق
4	9	25	1/- ، -/1	22	50	80	1/1
5.5	12	25	1/- ، -/1	30	65	80	1/1
7.5	18	32	1/- ، -/1	37	80	125	1/1
11	25	40	1/- ، -/1	45	95	125	1/1
15	32	50	1/- ، -/1	55	115	200	
18.5	38	60 / 50	1/- ، -/1 ، 1/1	75	150	200	

1- الملامس الميكانيكي Mechanical Contactor

انه عبارة عن نقاط تعمل بالتلامس الميكانيكي ويجب أن تتوفر فيه الضغط المناسب بين طرفي الملامس وقدرته علي تحمل التيار المقنن دون أي عيوب في هذه النقاط ويقبل العمل تكراريا، ولكنه غير قادر علي قطع تيار القصر الكهربائي، مما يستلزم إضافة وقاية له ضد القصر. إن هذه الملامسات تستخدم دائما في دوائر الوقاية وكذلك دوائر التحكم الآلي سواء للتشغيل أو الإستشعار أو الإنذار إلي غير ذلك من التطبيقات واسعة المدي.

2- نقاط التلامس المساعدة Auxiliary Contactors

هي عبارة عن نقاط خاصة بالتحكم Control Contacts حيث تزود الملامسات الميكانيكية الرئيسية بهذه نقاط التلامس التي تتغير حالتها من مغلقة إلي مفتوحة أو العكس، تبعا لحالة الملامسات الرئيسية كي تعمل كل النقاط معا. كما أنها تنحصر في نوعين هما:

النوع الأول أ (a):

يكون وضع الملامسات المساعدة متطابقا مع تلك الرئيسية (إما كل الملامسات الرئيسية والمساعدة مغلقة فتفتح أو العكس معا). كما تعرف باسم نقاط التلامس المفتوحة عادة.

النوع الثاني ب (b):

يكون وضع الملامسات المساعدة غير متطابقا مع تلك الرئيسية (عندما تكون الملامسات الرئيسية مغلقة تكون المساعدة مفتوحة والعكس بالعكس). كما تعرف باسم نقاط التلامس المغلقة عادة.

3- الملامس الكهرومغناطيسي Electro Mechanical Contactor

يتم تحريك الملامسات الرئيسية وبالتالي المساعدة عن طريق مغناطيس كهربائي بمجرد مرور التيار الكهربائي بالملف المغناطيسي. وعادة يكون ذو بملامسات عادة مغلقة.

4- ملامس الهواء المضغوط Pneumatic Contactor

يتم تحريك ملامساته عن طريق نبطية تعمل بالهواء المضغوط دون التدخل الكهربائي.

5- ملامس الهواء المضغوط الكهربائي Electro-Pneumatic Contactor

يتم تحريك ملامساته عن طريق نبطية تعمل بالهواء المضغوط. ويضاف عليه أن تعمل الصمامات بالتحكم الكهربائي.

6- الملامس بالسقاطة Latched Contactor

يزود هذا النوع من الملامسات بسقاطة، وهي التي يتم تعشيقها أو فكها من خلال إما التأثير الكهرومغناطيسي أو بالهواء المضغوط كما سبق التوضيح. في هذه الحالة يتم فتح الدائرة الكهربائية مع فصل مصدر التغذية عن وسيلة التشغيل، إلا أن السقاطة تمنع الأجزاء المتحركة من العودة إلي وضع السكون الأصلي قبل التشغيل.

7- الملامس المفرغ Vacuum Contactor

فيه تكون الملامسات موجودة داخل غلاف مخلخل من الهواء.

إن وضع السكون للملامس Rest Position هو ذلك الوضع الدائم عند إختفاء مصدر التغذية. عموما نجد ان مقننات الملامسات محددة بالمواصفات القياسية وأيضا المحلية بحيث تعطي كافة المعاملات الفنية الهامة في التعامل والأداء التقني للتشغيل علي أكمل وجه وهو ما نري منه نموذجا للملامسات ثلاثية الطور لجهد التوزيع 400 ف كما جاءت بالمواصفات الدولية. من ناحية أخري نجد أن درجة الحرارة هامة في إختيار وتشغيل المتممات بجانب مرات الأداء علي كامل التيار أو أكثر في بعض الحالات وهو ما يظهر من القراءات الواردة في الجدول رقم 1 – 1 والذي وضع للملامسات علي شبكة التوزيع لدي المستهلك العادي عموما.

من الضروري أن نذكر شروط الغلق والقطع لنطاقات الإستخدام لكلا من البادئات الميكانيكية والملامسات علي حد سواء، حيث يكون زمن الفصل لكل الحالات مساويا 50 ملي ث. كما يمكن إختصاره بشرط إستقرار قطع التلامس المتحركة في أماكنها تماما قبل إعادة الفتح، كذلك عدد دورات التشغيل أيضا ثابتا ويساوي 50 دورة. علي الجانب الثاني نجد أن نسبة الجهد المستعاد إلي المقنن للتشغيل هو عادة 1.05، كما يجب أن تختبر الملامسات في دائرة ملفات العضو الدوار علي تيار

يساوي 4 أضعاف التيار المقنن وعلي معامل قدرة 0.95. أيضا يجب تحقيق شروط الغلق للملامسات في النطاقين AC-3 و AC-4 حيث تجري إختبارات الغلق والقطع بشكل منفصل تبعا لشروط التصنيع كما يسمح بتجاوز ±20 % في نسبة الجهد عند الغلق كما أن نطاق التشغيل للملامس يمثل عنصرا أوليا للتعامل في الفصل والتوصيل كما نراه في الجدول رقم 1 – 2.

الجدول رقم 1 – 2: مقننات الملامسات وشروط التشغيل للملامسات تبعا للنطاق المخصص

<table>
<tr><th>الوضع</th><th>النطاق</th><th>نسبة تيار القطع والغلق إلي التيار المقنن</th><th>معامل القدرة</th><th>زمن الفصل ث</th></tr>
<tr><td rowspan="12">شروط القفل و القطع</td><td>AC-1</td><td>1.5</td><td>0.8</td><td rowspan="8">تخضع للجدول التالي</td></tr>
<tr><td>AC-2</td><td>4</td><td>0.65</td></tr>
<tr><td>AC-3</td><td>8</td><td rowspan="5">0.45 للتيارالمقنن حتي 100 أ ، و 0.35 للتيار المقنن أكبر من 100 أ</td></tr>
<tr><td>AC-4</td><td>10</td></tr>
<tr><td>AC-7b</td><td>8</td></tr>
<tr><td>AC-8a</td><td>6</td></tr>
<tr><td>AC-8b</td><td>6</td></tr>
<tr><td>AC-5a</td><td>3</td><td>0.45</td></tr>
<tr><td>AC-6a</td><td colspan="3">يستخدم محول أو تبعا للنطاق AC-3</td></tr>
<tr><td>AC-6b</td><td colspan="3">إجراء أختبار لدوائر الأحمال السعوية مع إضافة التأثيرات الحرارية</td></tr>
<tr><td>AC-7a</td><td>1.5</td><td>0.8</td><td>تخضع للجدول التالي</td></tr>
<tr><td>AC-5b</td><td>1.5</td><td>الأختبار بمصابيح كأحمال</td><td>60</td></tr>
<tr><td rowspan="2">شروط القفل</td><td>AC-3</td><td>10</td><td rowspan="2">قفل (ث)
0.05</td><td>10</td></tr>
<tr><td>AC-4</td><td>12</td><td>10</td></tr>
</table>

من جهة أخري تحدد المواصفات القياسية الدولية نطاق الأداء بالمسميات والرموز الدولية المجدولة في الجدول رقم 1 -3 حيث تنتشر هذه الحدود علي المدي المتسع لأداء الدوائر الكهربائية والعلاقة مع الدوائر الكهربائية الفرعية لدوائر المحركات وغيرها، كما أن هذه النطاقات النمطية تخدم كلا من البادئات والملامسات الميكانيكية معا في دوائر التيار المتردد عموما.علي الجانب الثاني نجد أن الملامسات تتعامل علي مدي مقنن لقيمة التيار في كل الأوضاع والحالات المختلفة كما هو محدد في الجدول رقم 1 – 4 حيث نجد حدود التيار المار بالملامس ومدي إعتمادية زمن فصل هذا التيار علي مقنن الملامس.

ثالثا: طرق تشغيل الملامسات في دوائر الوقاية
Methods of Contactor Operation

جدير بالذكر أنه تبعا للمواصفات القياسية تتمثل طرق تشغيل الملامسات في ثلاث وسائل بينما جاءت دوائرها الكهربائية في الشكل رقم 1 – 9 وهي:

الجدول رقم 1 -3: النطاقات النمطية القياسية للبادئات والملامسات الميكانيكية مع التيار ذو المتردد

النطاق	الإستخدام النمطي	الملاحظة
AC-1	أحمال غير حثية – حثية خفيفة – فرن بمقاومة	
AC-2	بادئ لمحرك بملفات ملفوفة	
AC-3	بادئ لمحرك قفص سنجابي وفصل مصدر التغذية أثناء الدوران	يسمح أحيانا للزعزعة أو عكس التغذية أثناء الدوران بمرات قليلة زمنيا بحد أقصي (5/ق + 10/10ق)
AC-4	بادئ قفص سنجاب وعكس مفاجئ لتتابع الأطوار	
AC-5a	تغذية دوائر التحكم لمصابيح التفريغ الكهربائي	
AC-5b	دوائر المصابيح التوهجية	
AC-6a	المحول الكهربائي	
AC-6b	تغذية مجموعة مكثفات	
AC-7a	الأجهزة المنزلية الحثية خفيفا	تتبع المواصفات
AC-7b	المحركات بالأجهزة المنزلية	
AC-8a	وحدة معدات التحكم في ضاغط التبريد محكم الغلق بزر يدوي إعادة ضبط إعتاق زيادة الحمل	تشمل محرك وضاغط مغلفين بدون عامود إدارة بارز أو مانع تسرب لزيت تزييت العامود حيث يدور في وسط التبريد
AC-8b	مثل البند السابق إضافة إلي أن تود بإعادة إعتاق آلي	

1- التوالي Series Sealing

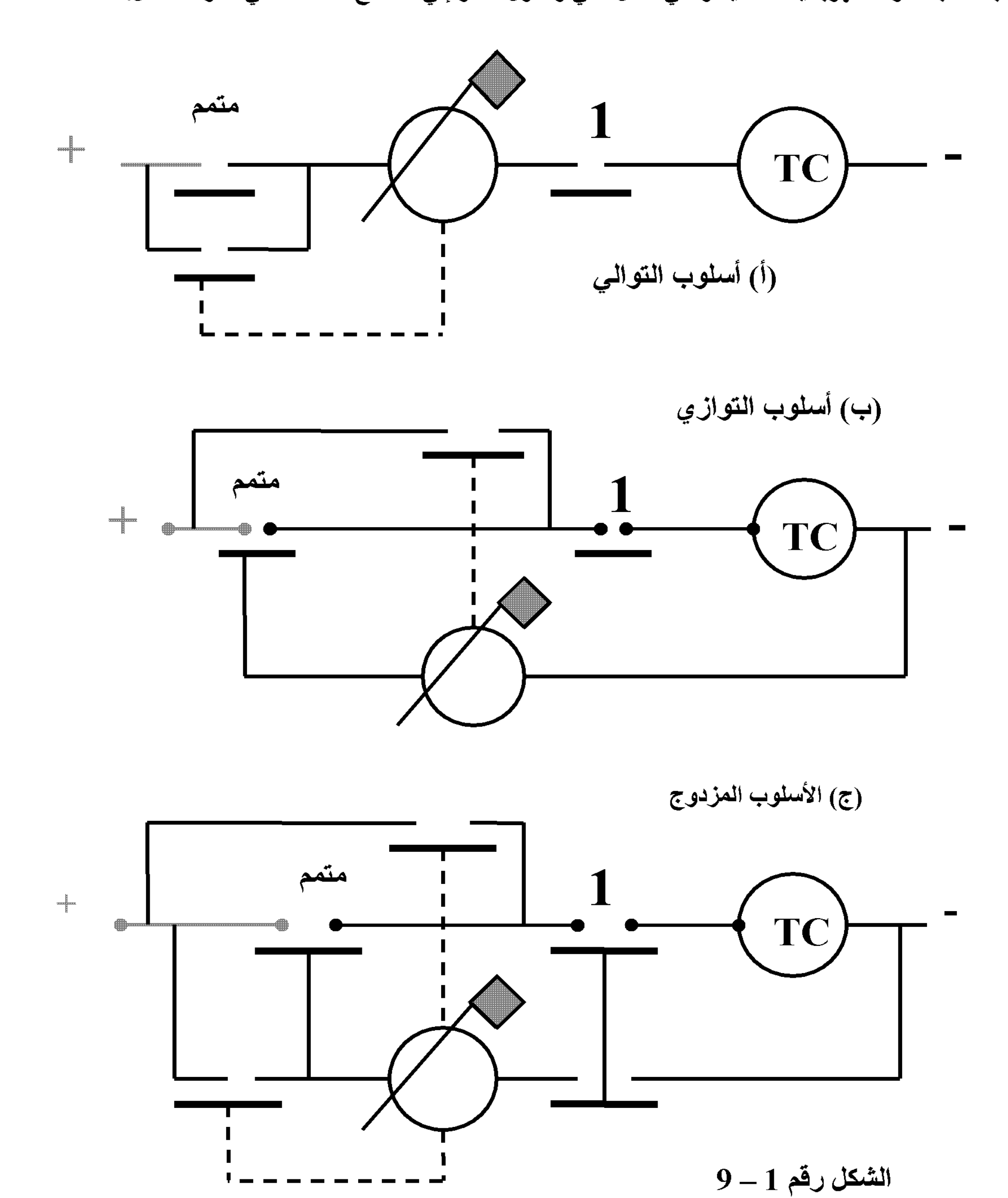
يستخدم في هذه الدوائر الخاصة بأوامر الفصل القواطع المساعدة بالطابع المفتوح عادة وهو الرقيم برقم 1 في الشكل رقم 1 -9 حيث يقوم المتمم بتشغيل التلامس الذي يغذي دائرة التيار المستمر ليعمل القاطع المساعد رقم 1 وهو الأمر المبسط ليكون التشغيل علي التوالي بالدائرة المعنية كما في الشكل رقم 1 - 9 (أ).

2- التوازي Shunt Reinforcing

يأتي التعامل مع هذا الطراز كما هو موضح بالشكل رقم 1 – 9 (ب) حيث يعمل المتمم علي توصيل الملامس الذي يكون علي فرع من التوازي لدائرة أمر الفصل (التيار المستمر).

3- المزدوج Series Shunt

يتم التشغيل لدائرة الفصل بالتيار المستمر تبعا لكلا من الطريقتين السابقتين مجتمعين معا فنجد الشكل رقم 1 – 9 (ج) قد جاءت بالدائرة الكهربائية المعنية والتي تعمل علي وصول الأمر إلي المفتاح المساعد في دائرة الفصل.



الشكل رقم 1 – 9

الشكل الثاني: التصنيف تبعا لنظرية التشغيل Operation

في هذا التقسيم نتجه إلي تصنيف طرق تشغيل المتممات أي نظرية تشغيل المتممات أو المرحلات بشكل عام لأنه سوف يختلف عن سابقه، ومن ثم نحدد أهم هذه الأنواع علي الشكل:

1- النوع المحدد للقيمة الدنيا Under Current

في هذه الحالة نجد أن متمم ما يعمل أو يحدد القيمة الأدنى لأي من القيم الكهربائية المطلوبة (تيار – جهد – قدرة – زاوية) حتي يندرج تحت هذا الإطار نوعا، كي يعطي أمرا ما لتشغيل دائرة كهربائية أخري.

2- النوع محدد لقيمة الأقصى *Over Current*

هو المتمم الذي يحدد القيمة الأقصى لأي من القيم الكهربائية المطلوبة (تيار – جهد – قدرة – زاوية) مصدرا لأمر ما لتغيير الوضع كهربائيا.

3- النوع المحدد لاتجاه ما Directional Type

إن هذا النوع من المتممات يقيس الكمية في اتجاه محدد أو يقيس القيمة إذا ظهرت في الاتجاه المعاكس ويصبح reverse type لذلك يستخدم لتحديد إتجاه إما للتيار أو لسريان القدرة.

4- النوع التفاضلي Differential Type

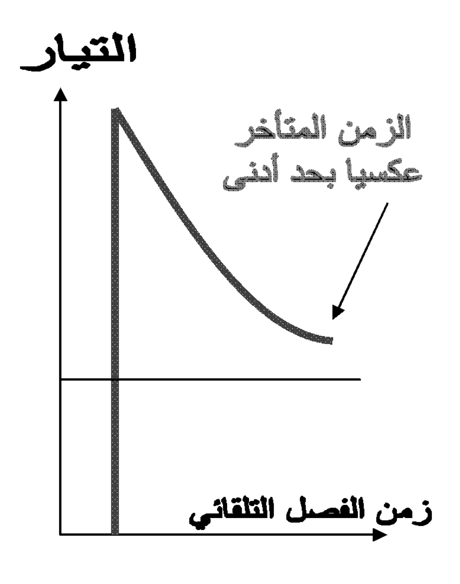
يستخدم هذا النوع من المتممات من أجل التفاضل بين شيئين أي قيمتين بحيث أن نستطلع الفرق بينهما إما حسابيا (جبريا) أو متجاهيا وذلك للتباين بين إما الزاوية بين جهتين أو بين كميتين في جهتين أو كلاهما معا بوضع الضبط المناسب لهذه المقارنة.

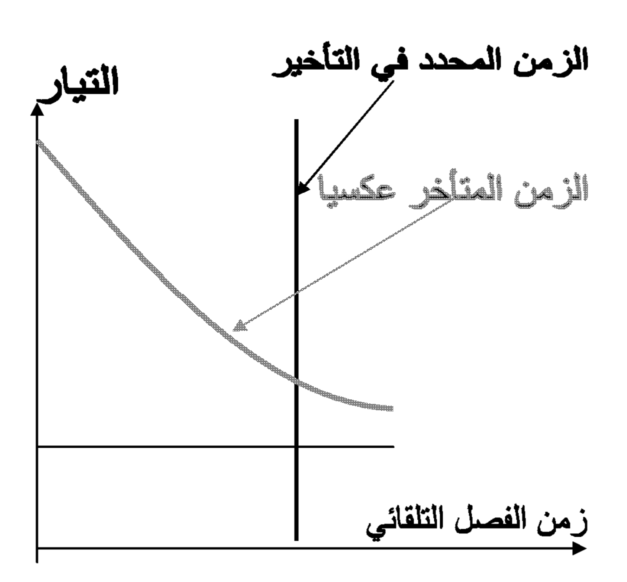
5- النوع الخاص بالمسافة Distance Type

من المعروف أن متمم المسافة يقيس المقاومة من خلال النسبة بين قياس الجهد وقياس التيار عادة وهناك انواعا أكثر تطورا وتعقيدا عن ذلك.

جدول 1 - 4: تيار القطع (بوحدات أ) وزمن الفصل (ث) للتحقق من سعة الغلق والقطع تبعا للمواصفات القياسية

تيار القطع (أ)	زمن الفصل (ث)	تيار القطع (أ)	زمن الفصل (ث)
100> I	10	600 < I ≤800	80
100 < I ≤200	20	800 < I ≤1000	100
200 < I ≤300	30	1000 < I ≤1300	140
300 < I ≤400	40	1300 < I ≤ 1600	180
400 < I ≤600	60	I > 1600	240





(أ) نوعي الزمن الثابت والتناسبي (ب) نوع الزمن التناسبي بحد أدنى

الشكل رقم 1- 10 : أنواع الضبط الزمني

الشكل الثالث: التصنيف تبعا لزمن الفصل Tripping Time

تصنف أيضا علي شكل آخر غير ذلك السابق فنضع التنوع تبعا للوقت المستهلك في الفصل أو بالأحري الوقت المحدد اللازم لإتمام أمر الفصل وهو ما يعتبر واحدا من أهم المعاملات في هندسة الوقاية الآلية بالشبكات الكهربائية المفردة عامة وفي الشبكات الكهربائية الموحدة بوجه خاص.

1- الزمن الفوري Instantaneous

لا يوجد فعلا الزمن الصفري ولكنه يعمل بسرعة في زمن صغير جدا يمكن اعتباره صفرا من الناحية العملية ويمثل الضرورة القصوى عند الحالات الطارئة والخطرة علي تشغيل المعدة تحت هذا الطراز الزمني للوقاية.

2- الزمن المحدد في التأخير Definite Time Lag

التأخير الزمني هنا لا يعتمد علي قيمة التيار أو الجهد بل يوضع له قيمة تشغيل محددة وتعرف باسم setting (الشكل 10-1).

3- الزمن المتأخر عكسيا Inverse Time Lag

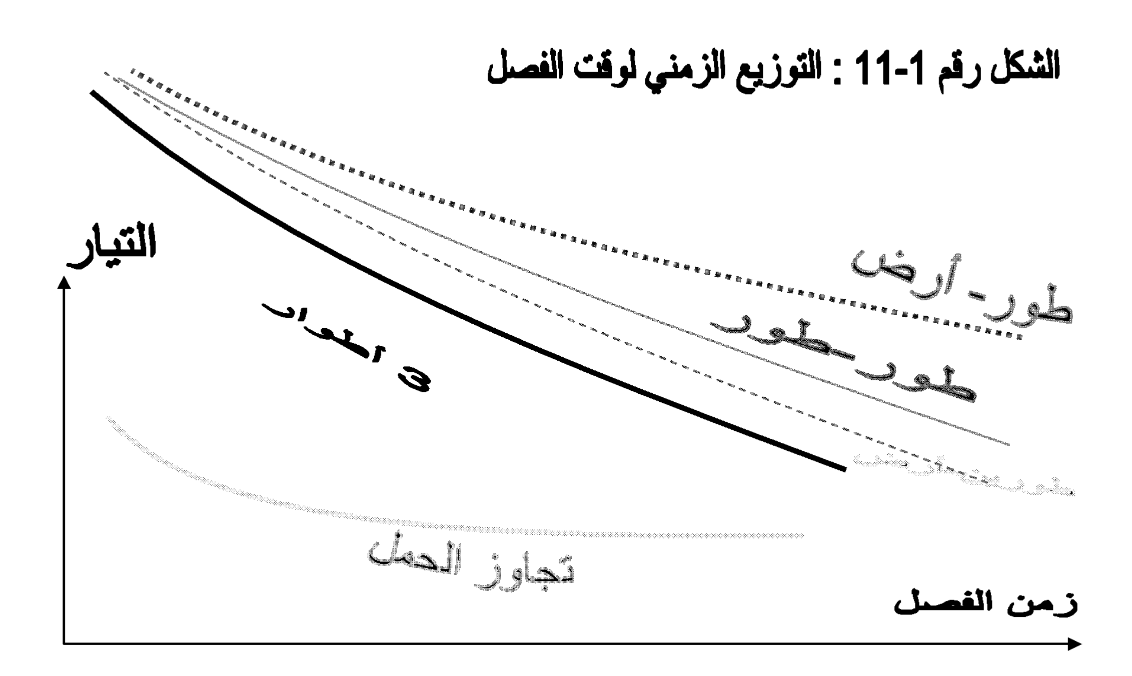
في هذه الحالة يعتمد زمن تشغيل المتمم علي قيمة التيار المقاس ويتناسب مع هذه القيمة تناسبا عكسيا (الشكل 1-10).

4- زمن المتأخر عكسيا بقيمة أدنى
Inverse Definite Time Minimum Lag

يعتمد هنا الفصل علي زمن يتناسب عكسيا مع القيمة المقاسة تبعا للضبط المسبق بشرط ألا يتم الفصل قبل الزمن الأدنى المحدد أيضا من قبل وقد تم الضبط عليه كأدنى زمن للفصل (الشكل 1- 10).

5- الزمن المرادف لنوع الخطأ   Type of Fault

هذا الزمن يتوزع علي محور نوع الخطأ أو القصر ففي الشكل رقم 1-11 حيث يوضع علي أربع مستويات هي: المستوي السريع ويعبر عن القصر ثلاثي الأوجه سواء مع الأرض أو بدونها بينما الثاني يعبر عن القصر بين وجهين مع الأرض أما الثالث فيخص القصر مع الوجه المفرد مع الأرض بينما الرابع يمثل القصر بين طور وحيد مع الأرض، كما يأتي التشغيل غير المرغوب فيه وهو التشغيل غير العادي (زيادة التحميل) في مستوي خامس وبطئ الفصل عن كل الحالات الأربعة السابقة.



الشكل رقم 1-11 : التوزيع الزمني لوقت الفصل

ثانيا: مصطلحات فنية   EXPRESSIONS

تتعامل الجهات المختلفة في هذا المجال من خلال بعض المصطلحات الفنية الهامة والأساسية وسوف نتعامل معها باللغة الإنجليزية حسب المعمول به لأن الشائع منها بالعربية غير موجود وغير موحد مما يتسبب في تضارب في المعني بين مرجع وآخر أو تخصص وغيره، ولذلك نذكر منها طبقا للحروف الأبجدية في الجدول رقم 1-5 و جدول 1-6 والجدول رقم 1-7 علي التتابع مع توضيح أن هذه المصطلحات هي الأهم لفهم منطق الوقاية وهي ليست كل المصطلحات بشكل عام.

جدول رقم 1-5: المجموعة الأولي من المصطلحات التقنية في مجال الوقاية

المصطلح التقني	المعني
Actual transformation ratio	النسبة بين القيمة الفعلية للملف الإبتدائي ومثيلتها للملف الثانوي
All or nothing relay	يلتقط المتمم قيمة أكبر من المقننة لتشغيله (أو أقل فلا يعمل)
Auxiliary relay	يتم تحميل المرحل عن طريق ملمسات متمم آخر
Back up protection	لحماية مبدأ الوقاية من فشل الدوائر الأساسية أو لتغطية المناطق الميتة
Balance resistance (B. R.)	مقاومة لضبط القيمة الصفرية للتيار في ملف المتمم
Biased relay	متمم لتحسين القيمة المؤثرة في التشغيل
Burden	معوقة المتمم في الدائرة وتقاس بـ VA أو W (D C)
Characteristic angle	الزاوية بين متجهين (تيار أو جهد) مؤثرين في تشغيل المتمم
Characteristic curve	منحني يبين خصائص التشغيل للقيمة محل الإهتمام
Characteristic quantity	القيمة المؤثرة لتشغيل المرحل
Characteristic impedance ratio (CIR)	القيمة الأعلي تماما عن القيمة المؤثرة لتشغيل المتمم بدقة
Check protective system	يمنع الفصل نتيجة الإشارة الخطأ
Composite Error	قيمة RMS للفرق بين القيمة الفعلية للتيارين الإبتدائي والثانوي أثناء دورة زمنية (ذبذبة) كاملة
Conjunctive test:	أختبار عام للدوائر الثانوية ويكون:
Parametric test	1- قياس مدي التغير في القيمة لكل معامل في الدائرة
Specific conjunctive test	2- يجري لإثبات خصائص الأداء لفصل محدد
Current error (ratio error)	النسبة المئوية للفرق الفعلي بين تياري الإبتدائي والثانوي منسوب للثانوي
Current Transformer (C. T.)	محول التيار الذي يمد دوائر الوقاية بالقيمة الفعلية للتيار (بنسبة تحويل)
Dependent time measuring relay	أنه يعتمد علي القيمة المختبرة زمنيا
Discrimination	التمييز
Drop out	سقوط المتمم من وضع تشغيل الفصل إلي وضع آخرتماما
Drop out/pick up ratio	حدود قيمة التشغيل وإعادة الوضع الأصلي
Earth fault protective system	منظومة للإحساس بخطأ التوصيل مع الأرضي فقط
Earthing transformer	محول ثلاثي الطور بنقطة تعادل مؤرضة
Effective range	مدي التأثير الفعال للقيمة الهدف
Effective setting	الضبط متضمنا تأثيرات محول التيار
Electrical relay	متمم ينقل التأثير فورا إلي دائرة أو أكثر من دوائر الفصل أو الثانوية
Electromechanical relay	متمم يعتمد علي القوي الكهروميكانيكية
Energizing quantity	القيمة الفعالة لتشغيل المتمم
Excitation current	قيمة (RMS) للتيار الثانوي الناتج عن مقنن الجهد في الدائرة المفتوحة
Flag (Target)	جهاز يعمل (ياي / بالجاذبية) لبيان التشغيل الفعلي للمتمم
Independent time measuring relay	لا يعتمد الزمن المحدد علي شئ داخل منطقة الأداء
Instantaneous relay	متمم لحظي ويعمل فورا
Inverse time delay relay	متمم زمني يعمل بسرعة مع القيمة الأعلي

جدول رقم 1-6: المجموعة الثانية من المصطلحات التقنية في مجال الوقاية

المصطلح التقني	المعني
Inverse time relay with definite minimum time (IDMT)	مثل السابق ولكن بقيمة أدني لا يعمل قبلها
Knee point EMF	(الركبة بمنحني CT) وتعطي عندها تغير 10 % في EMF مقابل 50 % تغير في التيار
Maximum Torque Angle	أقصي قيمة للعزم المؤثر علي قرص الدوران للمتمم
Main protection	الوقاية الأساسية وتشمل الدوائر الثانوية المسئولة عن الفصل التلقائي لأي خطأ
Measuring relay	هو متمم كهربائي لقياس القيمة بدقة
Notching relay	مفتاح ينقل التأثير بعد عدد معين من النبضات
Operating time	الزمن من البدء وحتي ينهي المتمم عمله
Operating time characteristic	منحني زمني مع القيمة المقاسة للفصل
Operating value	القيمة الفعالة للفصل (تيار – قوة – عزم)
Over current factor	النسبة بين مقنن تيار القصراللحظي إلي مقنن التيار الإبتدائي
Overshoot time	الفرق الزمني بين زمن عمل المتمم والفترة القصوي لتأثير القيمة المؤثرة الداخلية
Over reach	القيمة التي يبدأ عندها المتمم قبل أن يصل إلي القيمة المقننة
Pick up	حالة التغير الفعلي وتوصيل ملمسات المرحل
Phase angle error	الخطأ في الزاوية بين متجه التيار الإبتدائي وعكس إتجاه متجه التيار الثانوي (VT أو CT)
Pilot channel	أسلاك التوصيل لدوائر الوقاية
Potential Transformer (PT)	محول للجهد بقيمة أقل مناسبة للقياس (VT)
Protected zone	المنطقة تحت الحماية التلقائية
Protective gear	كل معدات وأجهزة وتوصيلات دوائر الوقاية
Protective relay	متمم وقاية (جهاز للفصل التلقائي)
Protective scheme	دائرة للوقاية الشاملة لأحد المعدات الكهربائية تحت الحماية
Protective system	منظومة تتكون من دائرة أو أكثر لحماية أي جزء من الشبكة الكهربائية
Rated accuracy limit primary current	أعلي قيمة للتيار الإبتدائي لتقليل الخطأ تبعا للمقنن
Rated burden	مقنن البردن ويحددها التصميم للحصول علي أعلي دقة أداء للمتمم
Rated primary current	مقنن التيار الإبتدائي عند التحميل الكامل لمحولات القياس (VT/CT)
Rated short time primary current	مقنن التيار (RMS) لتحمل التشغيل الفعلي
Rated secondary current	مقنن التيار الثانوي تبعا للتصميم
Rated transformation ratio	النسبة بين مقنن الإبتدائي ومقنن الثانوي في محولات القياس (VT/CT)
Rated saturation factor	نسبة التشبع في الإبتدائي إلي المقنن
Rated saturation primary current	أعلي قيمة تيار إبتدائي وتعطي دقة عالية
Resetting value	القيمة التي تعيد الوضع الأصلي
Residual current	المجموع الجبري للتيارات الخطية (الطورية)
Residual voltage	المجموع الجبري للجهود الخطية (الطورية)
Restraining value (Torque, Force)	القيمة المطلوبة لغلق ملمسات المتمم

جدول رقم 1-7: المجموعة الثالثة من المصطلحات التقنية في مجال الوقاية

المصطلح التقني	المعني
Seal in Coil	قيمة التيار الذي لا يسمح عنده فتح ملمسات المتمم
Setting	حدود الضبط لقيمة تشغيل المرحل (أداء أو تحفيز)
Stability	اتزان تام في كل حالات التشغيل
Stability limits	قيمة تيار (RMS) التي تبدل حالة دائرة الوقاية من الإتزان إلي عدم الإتزان
Starting relay	مرحل يتفاعل مع الحالات غير عادية ليبدأ إشارة الفصل إلي الدائرة الثانوية
Static relay	متمم إلكتروني يعمل عند قيمة محددة
System impedance ratio (SIR)	= معوقة باقي الشبكة والمولدات / معوقة الجزء تحت الحماية
Through fault current	تيار الخطأ الذي يتخطي المنطقة تحت الحماية إلي التالية
Time delay	التأخير الزمني لعملية الفصل التلقائي
Time delay relay	متمم زمني بتوقيت مثل الساعة لتأخير زمن الفصل
Tripping Coil (TC)	ملف الفصل وهو يعطي أمر الفصل للدائرة
Under Reach	حالة وجود خطأ واجب الفصل ولم يقم المتمم بذلك إطلاقا
Unit electrical relay	متمم مفرد يستعمل منفردا أو في مجموعة
Unit protection	وحدة وقاية تعمل فقط عند حالات القصر
Unrestricted protection	منظومة وقاية لا تعمل مع منطقة محددة ويمكنها الأداء والتمييز مع التدرج الزمني

الجدول رقم 1-8: معادلات التيار الحسابية في حالات القصر

نوع قصر	تيار موجب I_1	معوقة موجبة Z_1	الدائرة المكافئة
ثلاثي الطور	$E/(Z_1+0)$	0	Z_1, I_1, E
طور - أرض	$\dfrac{E}{(Z_1+Z_2+Z_0)}$	Z_2+Z_o	I_1, I_2, I_o, Z_1, Z_2, Z_o, E
طور - طور	$\dfrac{E}{(Z_1+Z_2)}$	Z_2	I_1, I_2, Z_1, Z_2, E
طورين - أرض	$\dfrac{E}{Z_1+\dfrac{Z_2Z_o}{Z_2+Z_o}}$	$\dfrac{Z_2\ Z_0}{Z_2+Z_0}$	Z_1, I_o, Z_o, I_2, I_1, Z_2, E

يتم التعامل مع هذه المصطلحات expressions باللغة الإنجليزية حتى لا يحدث تداخل في المعاني ومع ذلك سوف نجتهد في وضع العبارات العربية المناسبة لها لأنها تتغير من فرد إلي آخر ومن كتاب إلي غيره بالرغم من تواجد أغلب المصطلحات بشكل موحد عن طريق المجمع العربي، ويمكن رجوع السبب إلي عدم تداول اللغة العربية باستمرار في جميع المجالات خصوصا مع التقدم العلمي الغربي السريع والذي يحتاج إلي مواكبة مستمرة.

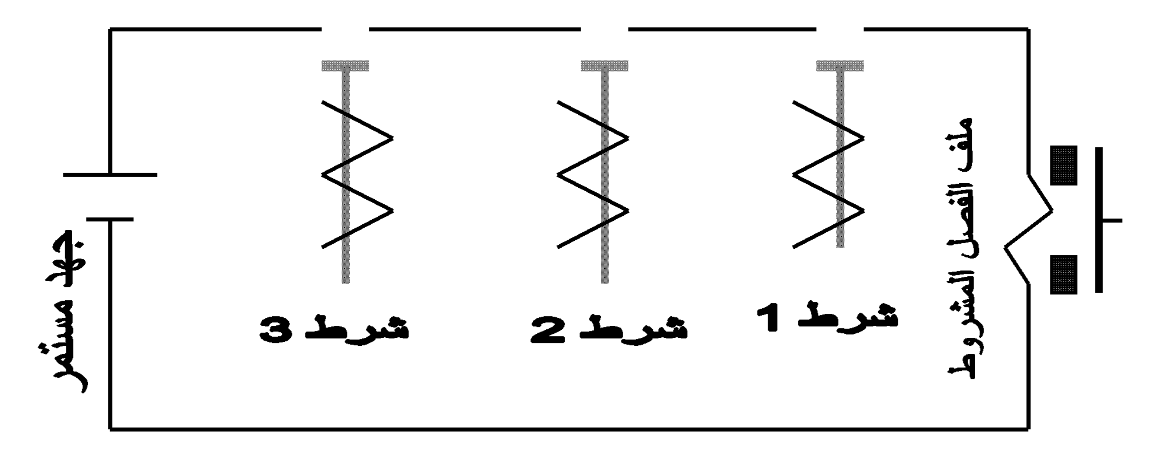
جدير بالذكر أن نضع هنا مع هذه المصطلحات أحد المصطلحات الفنية اللازمة للشرح من حيث المبدأ في شكل الدائرة الكهربائية إذا ما كانت هناك شروطا متعددة من الواجب توافرها لتشغيل المتمم وهو أيضا من الأسس المتبعة في دوائر التحكم control circuits عموما ولذلك يعرض الشكل رقم 1-12 الدائرة العامة general circuit لتواجد الشروط في أداء العمل تلقائيا.

كما نضيف إلي المصطلحات الفنية تجميعا رياضيا بالدوائر المكافئة equivalent circuits في حساب تيار الخطأ faulty currents في شكل مبسط simple form ومجدول tabulated باعتبار أن هذا العمل الرياضي mathematical analysis قد سبق التعامل معه ونضعه في جدول كملخص لأهم ما سوف نحتاج إليه أثناء دراسة دائرة ما من أجل وضع أسس ضبط the basic setting الوقاية اللازمة لها (الجدول رقم 1-8).

1- 5: شبكات الطاقة المتجددة
ELECTRIC SOURCES WITH RENEWABLE ENERGY

نهتم اليوم بالطاقة الجديدة والمتجددة لتوفير المخزون من الخامات التقليدية لإنتاجها مثل البترول والفحم وهكذا كان علينا اللجوء إلي الاعتماد علي تلك الطاقة المتجددة كلما كان متاحا ولكن لا بد من الاهتمام بالناحية الاقتصادية وألا نغالي في استخدامها عند ارتفاع سعرها ، وهذا يجعلنا نتعرض إلي واحدة من النقاط الهامة علي ساحة تغذية المعدات والمهمات الكهربائية بالطاقة للحصول علي ما نبغيه بأقل تكلفة. من الناحية الأخرى تأخذ الطاقة الجديدة والمتجددة المبادرة للحل الأمثل عندما يكون الاحتياج للطاقة في المناطق النائية والبعيدة عن تواجد الشبكات الكهربائية وحدود استغلالها عند الأطراف الاستهلاكية ولهذا يصبح الموضوع هاما ويفرض نفسه علي الساحة بشكل عصري وبنظرة موضوعية.

من هذا المنطلق نتجه إلي وضع المفاهيم المبسطة لكيفية التعامل مع هذه النظم المستحدثة حتى يتمكن المستخدم من الاعتماد عليها بالأسس السليمة كي نعطي له المقاييس التي توضع في الاعتبار عند الاختيار وبذلك نعي ماهية الفروق بين النظم والاحتياجات خصوصا في المناطق النائية والتي تظهر معها هذه الضرورة. جدير بأن نبين المصادر المختلفة الممكنة في تلك النظم علي النحو التالي.



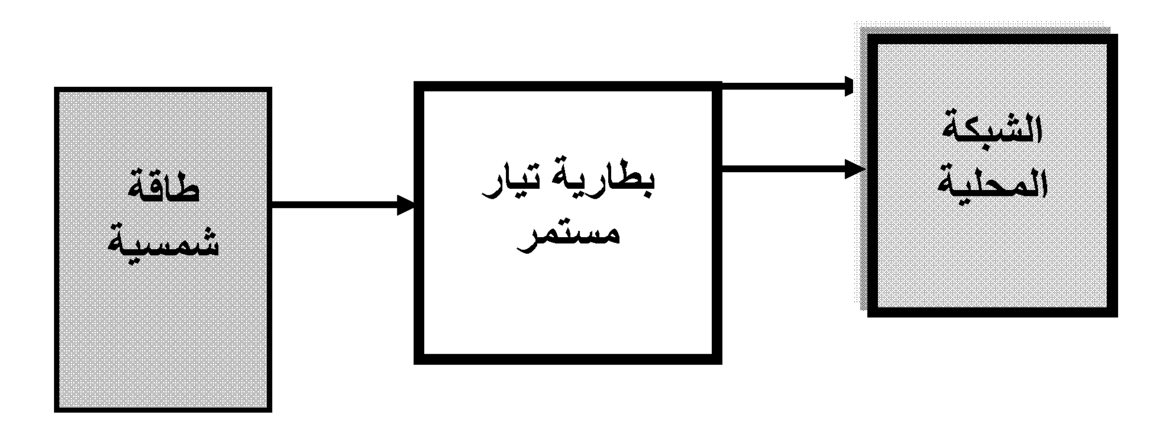
الشكل رقم 1-12 : الدائرة المبسطة للشكل العام لربط شروط الفصل

أولا: مصادر التيار الكهربائي من الطاقة الجديدة والمتجددة Sources

نتناول مصادر التغذية الكهربائية في المناطق النائية عند الاعتماد علي الطاقة الجديدة والمتجددة (الشكل رقم 1- 13) حيث تظهر التغذية علي أطراف مولد تيار مستمر أو علي أطراف بطارية وفي الحالتين تتبع الشبكة الكهربائية نظام التيار المستمر وهو ما يماثل تلك الأنظمة المتبعة في السيارات ويكون الجهد غالبا هو 12 فولت مستمر ويكون الاستهلاك في أضيق الحدود وبالتالي تخضع كل المكونات للجهد المقنن فيها وهو ما يختلف عن الشبكة الاستهلاكية المعتادة والتي تعمل علي الجهد 220 فولت تيار متردد. من هنا نجد أن الشبكات الكهربائية المحلية في مثل هذه الحالات تتحدد في ثلاث محاور هي:



(أ) التغذية من طاقة الرياح



(ب) التغذية من الطاقة الشمسية

الشكل رقم 1 - 13: أسلوب تغذية الأحمال من الطاقة المتجددة

1- شبكات التيار المستمر DC Networks

شبكات التوزيع الكهربائي بالتيار المستمر تمتاز بالبساطة لأنها تتطابق تماما مع تلك الشبكات المستخدمة في السيارات والطائرات والسفن وتمتاز بأنها مستقلة بذاتها ولا تعتمد علي شبكات أو مولدات أخري بينما يعيبها تلك المهمات المستخدمة والتي لن تصلح عند الربط مع الشبكة الكهربائية الموحدة مستقبلا.

2- شبكات التيار المتردد AC Networks

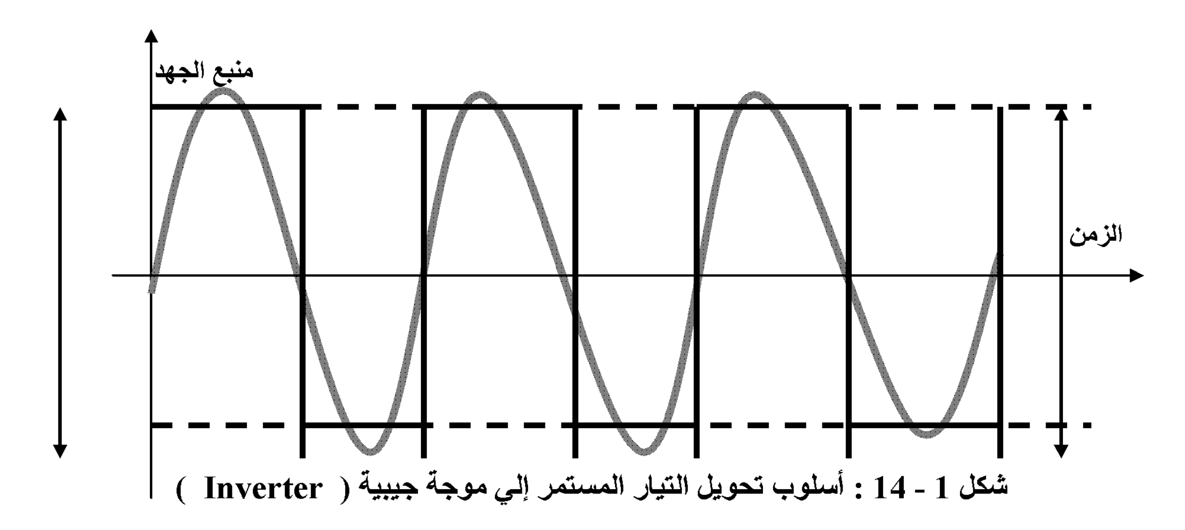
أن جميع المعدات التي ستستخدم في شبكات التوزيع الكهربائي بالتيار المستمر (12 ف) ستصبح غير صالحة عند التعامل مع الشبكة الكهربائية المعتادة (220 ف) إلا إذا تم الإبقاء علي نفس الأوضاع دون تغيير وقامت الشركات المتخصصة بتعديل الأوضاع وقامت علي إيجاد النظم المعتادة 220 فولت متردد من هذه الطاقة المتجددة وذلك من خلال نظم تحويل التيار المستمر إلي متردد (الشكل رقم 1- 14) وهي نظم معروفة وتقليدية ومنها محطات كاملة للربط بين محطات وشبكات التيار المتردد وتلك التي تعمل بالتيار المستمر حيث يتم تقطيع التيار المستمر إلي موجات مربعة ثم إلي موجات جيبية ونحصل علي المطلوب حتى تكون المعدات مقننة مع تلك المعتادة في الشبكات الكهربائية ولا نحتاج إلي أي تعديل عند الربط معا أو عند وصول الشبكات الموحدة إلي الموقع النائي.

3- الشبكات المختلطة العمومية Mixed Networks

وجدت الشبكات المختلطة لتلبية الاحتياجات اليومية من الطاقة الكهربائية التي ظهرت علي الساحة خصوصا وأنه يوجد البعض من المستهلكين الذين يعتمدون علي الطاقة المتجددة بصفة دائمة لوقت ليس بالطويل مما يستدعي الربط مع الشبكة الكهربائية الموحدة خصوصا في تلك الدول ذات النمو السريع. فيكون لزاما علينا أن نضع في الاعتبار عند بناء الشبكة الكهربائية المحلية بأن تكون صالحة للحالتين (التيار المستمر والتيار المتردد) ومن هنا ظهرت الشبكات المختلطة وهي التي تصلح للتيار المستمر غالبا 12 فولت وأيضا للتيار المتردد المعتاد 220 فولت، وبالرغم من أنها معيبة إلا أن نسبة الاعتمادية فيها عالية وتضاهي كل الاحتياجات ويفضلها الكثيرون من العملاء في هذا الحقل.

ثانيا: خصائص الشبكات الكهربائية
Properties of Electric Networks

تتباين الشبكات الكهربائية في ثلاث مناطق هي تلك المبينة في الجدول رقم 1 – 9 حيث تظهر الفروق بينها في بعض النقاط المحددة بشكل مبسط ولكنها تخضع من حيث المبدأ للحسابات الاقتصادية مع احتساب عمر المعدات وقطع الغيار البديلة ، كما أن الربط بين الشبكة المحلية النائية والشبكة الموحدة يأخذ أشكالا مختلفة كما نراها في الشكل رقم 1 - 15 حيث تظهر البساطة في النوع الأول المبين في الشكل رقم 1 – 15 (أ) بينما نجد التنوع بين النظم من خلال التعامل مع أهمية الشبكة الكهربائية بالموقع.



شكل 1 - 14 : أسلوب تحويل التيار المستمر إلي موجة جيبية (Inverter)

ثالثا: الربط مع الشبكة الموحدة

Connection with United Networks

عملية الربط بين الشبكة المحلية والتي تعتمد علي الطاقة المتجددة والشبكة الكهربائية القومية الموحدة يأتي بعد فترة زمنية قد تطول إلي حدود السنوات أو العقود أحيانا ولذلك تتعرض العملية التخطيطية لإنشاء أي من أنواع الشبكات الكهربائية للحسابات الاقتصادية وصولا إلي الحل الأمثل لبناء أي من هذه الشبكات وبالتالي نحصل علي احتمالات أربعة للربط كما نشاهدها في الشكل رقم 1 - 15 ومنها حالتين لاعتماد الشبكة المحلية علي التيار المستمر فقط والباقي لحالة التحويل والتغذية بالتيار المتردد المقنن وهو الأكثر تكلفة وفي كل من الحالتين يوجد طريقان من الربط وهما إما الربط لمنبع التيار المحلي من جهة إلي الشبكة بينما تدخل الشبكة الكهربائية الموحدة مستقبلا من الناحية الأخرى أو الربط المباشر بين التوليد المحلي والشبكة الكهربائية الموحدة ليصبح الدخول علي الشبكة الاستهلاكية من نقطة واحدة في كل الأحوال وهو الحل الأفضل في أغلب الأحيان لأنه يشمل التغذية المدروسة ويسهل بالتالي عمل أجهزة الوقاية علي الشبكة الكهربائية.
من هذا المنطلق ونظرا لما نلحظه علي الساحة الدولية من التكالب علي استهلاك الطاقة التقليدية بشكل متزايد يوما بعد يوم بالاضافة إلي ارتفاع سعرمصادر الطاقة التقليدية، نخلص إلي بعض الأسس الجوهرية والمتوقع ظهورها في العمل المستقبلي داخل نطاق الشبكات الكهربائية كي توضع في الاعتبار عند تصميم نظم الوقاية المختلفة. يصبح هذا ضروريا وهاما كي تستوعب هذه الشبكات الجديدة والتي بالضرورة سوف تنضم للشبكات الكهربائية العاملة حاليا ونضع ذلك في نقاط مبسطة:

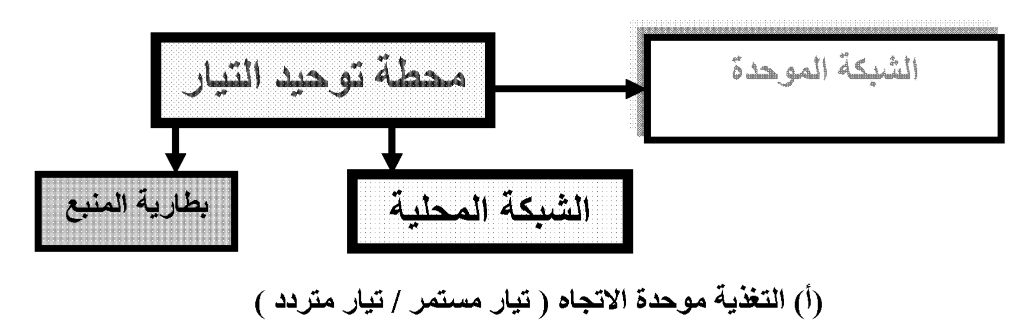
الجدول رقم 1 – 9 : الفروق الجوهرية بين الشبكات الكهربائية المستخدمة

البند	شبكة التيار المستمر	شبكة التيار المتردد	الشبكة المختلطة
التوصيلات	أقصر ما يمكن	تبعا للكود	تبعا للكود
أدوات الإخراج	خاصة جدا	تبعا للكود	تبعا للكود
المهمات	مهمات خاصة	مهمات مقننة	مهمات مقننة أو خاصة
الربط مع الشبكة	صعبة وباهظة الثمن	سهلة ورخيصة	متوسطة الثمن

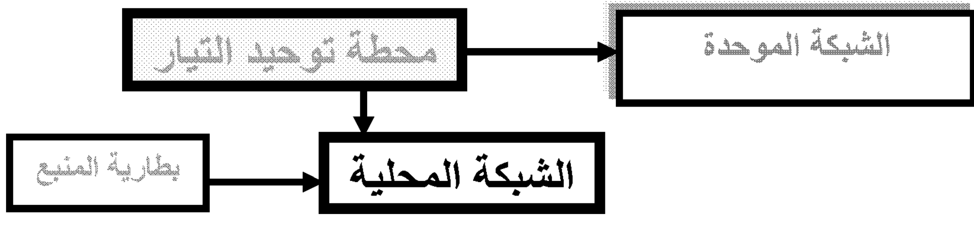
1- ضرورة الإنتفاع من تواجد الشبكات الكهربائية الصغيرة المحلية في كل موقع مستقل والمعتمدة علي الطاقات الجديدة والمتجددة متي توافرت في المناطق البعيدة عن العمران مثل تلك المستخدمة في السفن والسيارات والطائرات والطرق الصحراوية والأبنية النائية والبعيدة عن العمران.

2- من الهام دراسة الجدوى الاقتصادية مع التوقع الزمني لتوصيل الشبكة الموحدة إلي موقع الشبكة النائي.

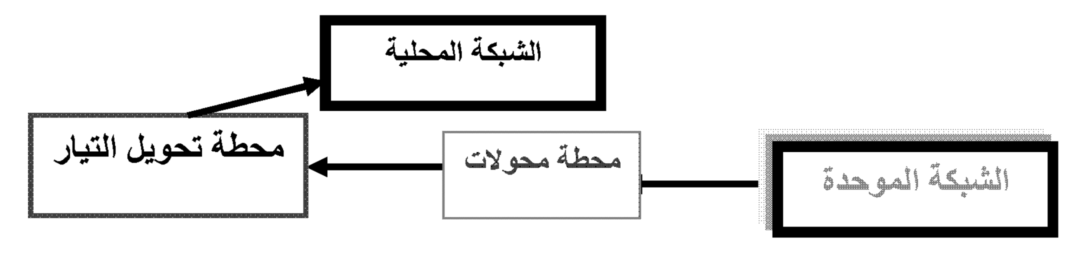
أنه من الجائز التعبير عن هذه النقاط بأن التجميع معا يفيد إلي حد كبير من النواحي التقنية أولا ثم من الناحية التنويعية في المصادر والمنابع المتباينة والتي تعطي الفرصة الأكبر لمواجهة القصور في شيء ما محدد دون غيره وهذا ينطبق ليس فقط علي الشبكات الكهربائية بل يمتد أيضا إلي النظم الهندسية عموما وقد يصل الأمر إلي النواحي الإقتصادية أيضا من أجل أستقرار الأوضاع الإقتصادية وتقليل معاملات الخطورة بقدر الإمكان وقد يصل أيضا إلي النواحي التموينية والغذاء للسكان وإلي الخصائص الإجتماعية لكل مجتمع أيضا.
إن أعمال الوقاية بصورة عامة تحتاج بالضرورة إلي حساب التيارات والجهود وقت القصر كما تحتاج إلي المزيد من التحليل الهندسي لآثار القصر حسب نوعه ومكانه وزمانه، وذلك يدفعنا إلي التنويه والتأكيد علي أهمية دراسة طرق قياس وحساب التيارات والجهود المختلفة لكل الأطوار أو لأجزاء منها بل وفي المناطق المتباينة تأكيدا علي نتائج الحسابات النهائية والتي عليها يتم وضع قيمة الضبط لكل حالة.
أكثر الطرق إستخداما وتطبيقا في حسابات معاملات الشبكات الكهربائية هي طريقة المركبات الثلاثية (الموجبة والسالبة والصفرية) ومن ثم يأتي تيار القصر وكذلك الجهد وتوزيعهما علي كل المواقع التي تتأثر بها مما يتيح الفرصة للضبط الفعال لكل متمم علي حدة وللشبكة الكهربائية ككل.



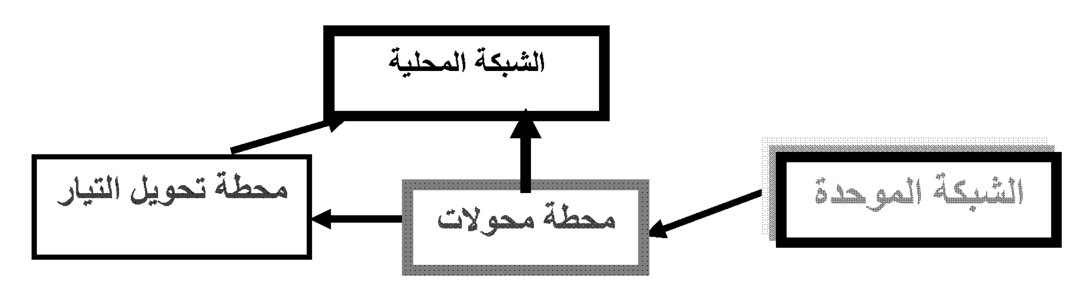
(أ) التغذية موحدة الاتجاه (تيار مستمر / تيار متردد)



(ب) ربط من جهتين (تيار مستمر / تيار متردد)



(ج) التغذية وحيدة الاتجاه (تيار متردد / تيار متردد)



(د) التغذية مزدوجة الاتجاه (تيار متردد / تيار متردد)
الشكل رقم 1 - 15: أنواع الربط بين الشبكة الصغيرة بالموقع والشبكة الموحدة

محــولات القياس
Measuring Transformers

عادة نحتاج لقياس الكميات الكهربائية electric quantities في الدائرة الأساسية primary circuit وهي كبيرة مثل التيار current الذي قد يصل إلي مئات الكيلو أمبير والجهد voltage الذي يبلغ أيضا مئات الكيلو فولت فالتيار الكبير يسبب فقدا حراريا heat loss ضخما فمثلا إذا كانت مقاومة الأميتر 1 أوم لبلغت القدرة الحرارية 1 م. وات (1 MW) وهي قدرة كافية لصهر الحديد خصوصا وأننا نحتاج للقياس بصورة دائمة بدون غفلة من الزمن كما أن الجهد العالي HV يسبب الدمار لأي عزل أو يصعق الأفراد في حيز المجال النشط effective field له ولهذا كان علينا أن نلجأ إلي تمثيل الكميات الحقيقة real في الشبكة الكهربائية بكميات أصغر تلائم القياس وبدون أضرار hurts أو فقد loss ملموس في الطاقة قد يلحق الضرر بالأجهزة والمعدات والأفراد وبنفس الدقة المطلوبة دون أية أخطاء في القياس. من هنا تأتي أهمية محولات القياس وهي محولات الجهد VT ومحولات التيار CT حيث يستخدم كلا المحولين لأغراض ثلاثة أساسية هي القياس measurement كما يحدث لبعض الكميات الكهربائية والقراءة reading مثل الأميتر والفولتميتر وغيرهما وكذلك من أجل التحكم أو الوقاية protection للعيوب الطارئة (مثل القصر short circuit بكافة أنواعه متماثلة أو غير متماثلة - المتصلة بالأرض أم لا - أو تحميل زائد over load أو تغيير اتجاه سريان القدرة)، وهي من الأخطاء التي قد تحدث بكافة أنواعها أثناء تشغيل الشبكة الكهربائية مما يتطلب الفصل التلقائي automatic tripping الفوري أحيانا. ففي القياس يجوز الحصول علي الجهد والتيار قياسا في دائرة تحكم control circuit أو تسجيلا علي رسم بياني مثل القدرة والطاقة أو أيضا باستخدام الأوسلوجراف أو الأوسولوسكوب. لذلك سوف نستعرض في شكل مختصر خصائص كلا من محولي الجهد والتيار (الشكل رقم 2-1).

1-2: محول الجهد Voltage Transformer

عادة نحتاج إلي تمثيل الكميات الكهربائية بذات الصفات وبالدقة المطلوبة حتى نستطيع إجراء عمليات الوقاية بشكل صحيح وبدون خطأ ولكن هذه المحولات تخضع لظاهرة اللاخطية في مناطق محددة من الخواص مما يضيع علينا أحيانا ضرورة نقل الكميات وتحويلها بالدقة المطلوبة سواء أثناء التشغيل العادي أو في الحالات الانتقالية (الفجائية) وتؤثر في وقت الفصل للمتمم مما يجعلنا نؤجل عملية أمر الفصل إلي ما بعد ذلك كي تستقر القيمة تحت القياس. ويتسبب القلب المغناطيسي عموما في جميع أنواع المحولات بهذه الظاهرة، وبالرغم من ذلك ففي بعض الحالات يلزم الفصل الفوري دون انتظار وأثناء الفترات الفجائية.

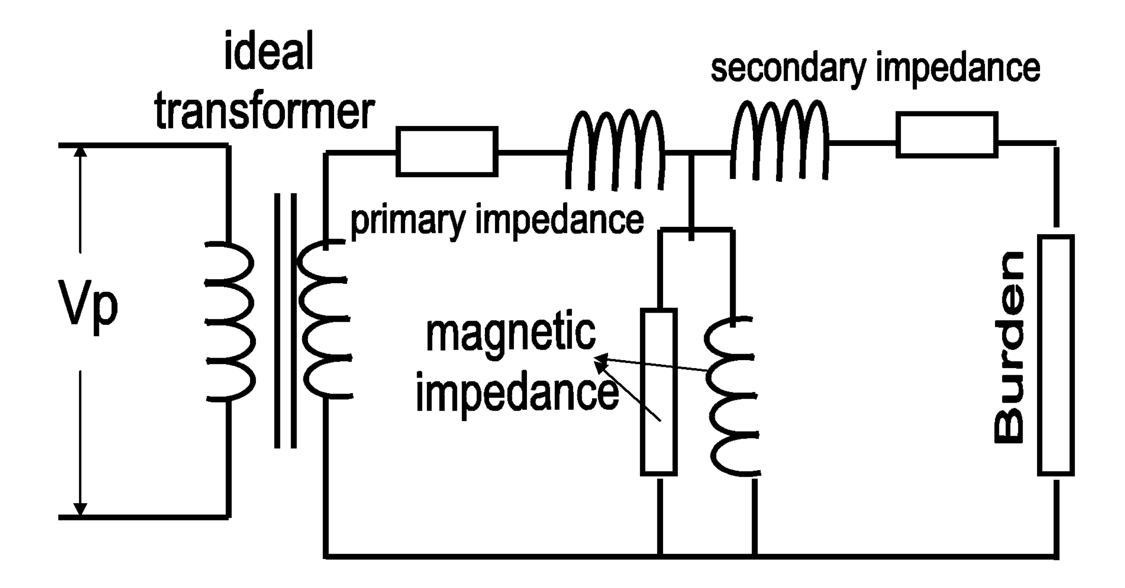
يعطي الشكل رقم 2-1 الدائرة المكافئة equivalent circuit عموما لمحولات القياس بنوعيها حيث يعتبر محول الجهد كمحول قدرة بالقدرات الصغيرة جدا لقياس الجهد مثل الفولتميتر ويختلف في التصميم للحالتين بينما محول التيار يمثل الأميتر ammeter في الدائرة وهذه الدائرة المكافئة تعبر عن الناحية الثانوية secondary للملفات بينما الجهة الأولية primary تعطي بالنسبة 1:1 ويعرض الشكل رقم 2-2 الرسم المتجه vector diagram لمحولات الجهد، ويظهر خطأ error في القياس بجهتين، سواء كانت بهدف القياس أو الوقاية، الأولى هي القيمة value بينما الثانية تصبح الزحزحة في الزاوية phase displacement.

أولا: تصنيف محولات الجهد VT Classification

توضع محولات الجهد VT(قد يشار إليها أيضا بالرمز PT في بعض المراجع) بشكل عام في التصنيف التالي:

النوع الأول: محولات كهرو مغناطيسية Electromagnetic VT

تشمل المحولات الكهرومغناطيسية شكلين جوهريين منها وهي:



الشكل رقم 2-1 : الدائرة المكافئة للمحول

1- محولات عادية مفردة المرحلة Normal VT

هذا المحول هو الشائع استخداما ويتواجد بكثرة في كل المحطات الكهربائية ولكنه أيضا ينقسم إلي:

(أ) محولات لها قلب حديدي منفرد لكل وجه
Single Core Single Phase

تمثل أكثر الأنواع تواجدا في الشبكات الكهربائية عموما وتستخدم في الوقاية ما عدا حالات الوقاية بقيمة الجهد المتبقي residual.

(ب) محولات ثلاثية الوجه وحيدة القلب
3 Phase Single Core

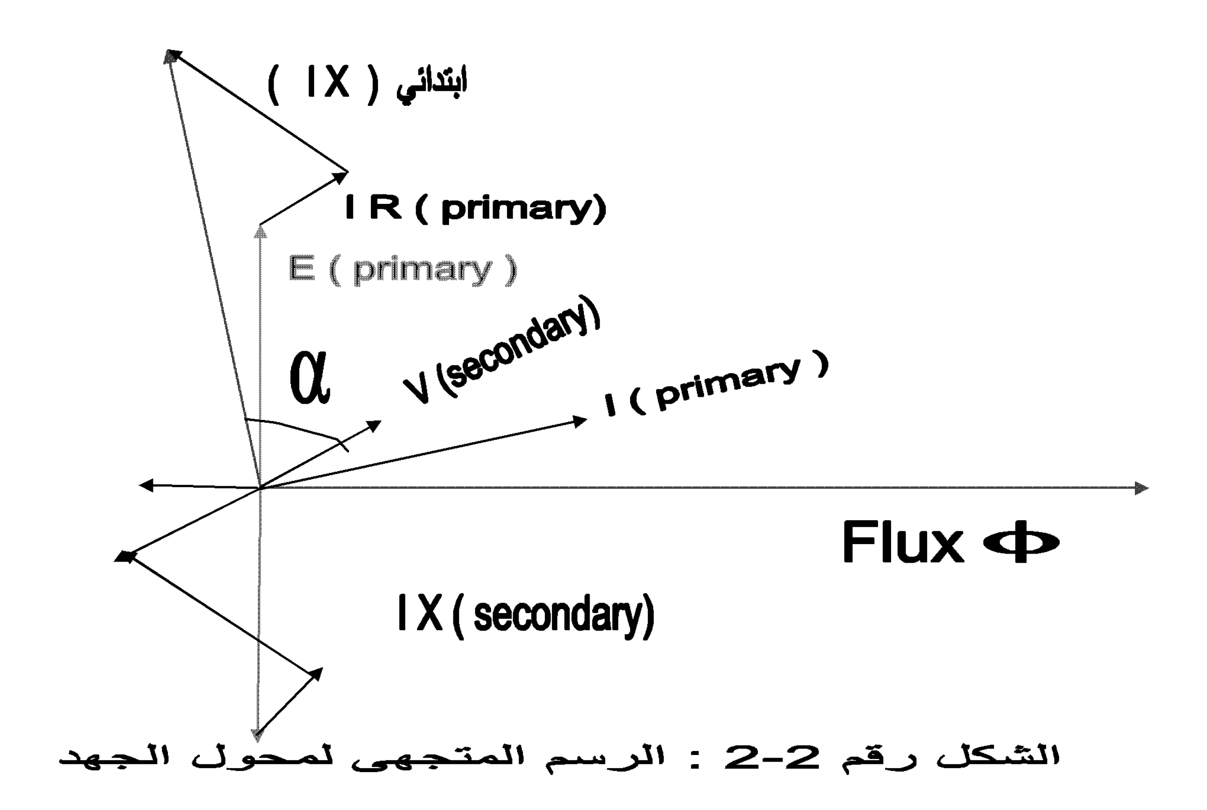
تتواجد محولات الجهد ثلاثية الطور مع الجهد المنخفضLV مثل شبكات التوزيع distribution وهي جيدة وصالحة للعمل إلا انه يلزم لها نوعان هما:

النوع الأول: محولات ثلاثية الفروع (الأذرع) 3 Limbs

هذا النوع له من الاستخدامات الأكثر في مجال القياس والتحكم كما يستخدم أحيانا في دوائر الوقاية عند التعامل مع دوائر التحكم الآلي وفي الحالات الخاصة.

النوع الثاني: محولات خماسية الفروع (الأذرع) 5 Limbs

هذا النوع يتميز بإمكانية تواجد الفيض المار في القلب المغناطيسي مما يعطيه الفرصة في قياس مجموع الفيض ثلاثي الوجه في قلب واحد وهو أساسي عند التعامل مع قيمة الجهد المتبقي كما سنفرد مزيدا من الشرح فيما بعد تفصيلا.



الشكل رقم 2-2 : الرسم المتجهى لمحول الجهد

2- محولات متعددة المراحل الجهدية Cascaded VT

هي محولات تصلح عادة في معامل الاختبارات فائقة الجهد.

النوع الثاني: محولات سعوية Capacitive VT

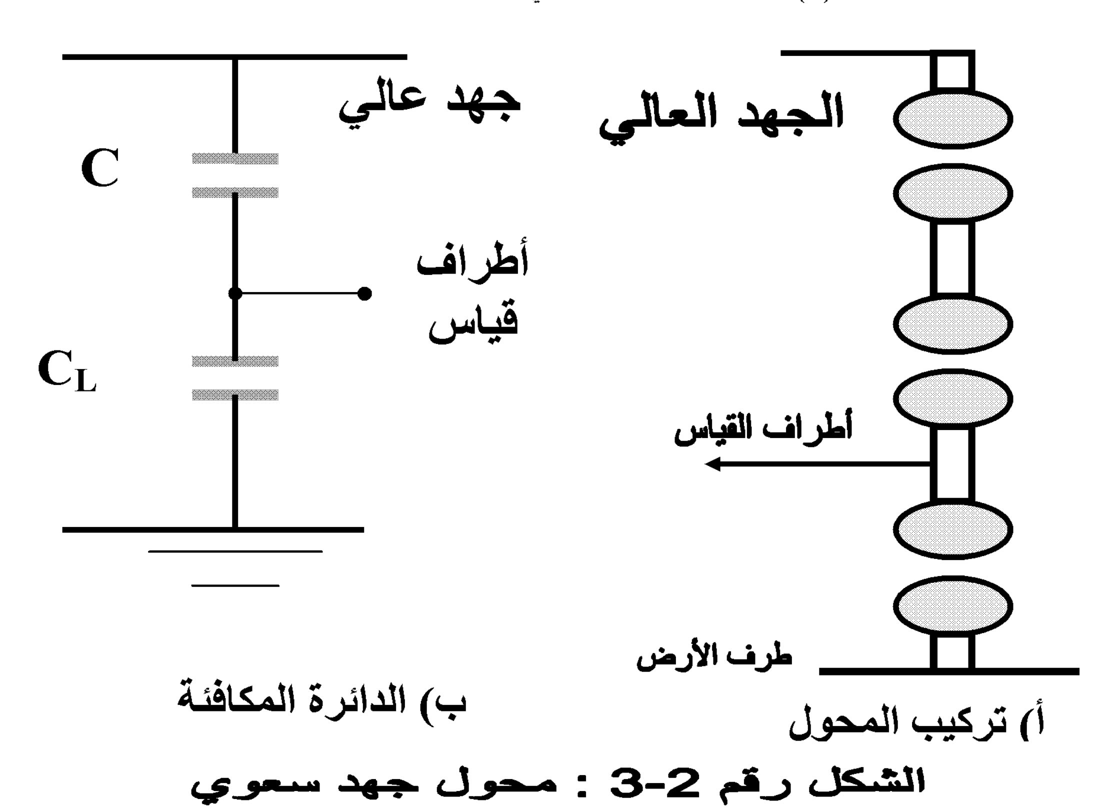
تمثل المحولات السعوية ضرورة فنية واقتصادية economic كلما ارتفع الجهد المقنن للشبكة الكهربائية إضافة إلي أنها تقلل من المتاعب والمشاكل في الحالات الانتقالية transients وتتأثر بذبذبة المنبع الكهربائي frequency وتتأثر أيضا بقيمة البردن burden المتصلة بالأطراف الثانوية وتنقسم عموما إلي:

1- محولات ذات أوضاع ضبط متعددة Muti Settings VT

تمتاز محولات الجهد متعددةالضبط بأن لها إمكانية الضبط المتباين حيث أن لها قيم قياسية مقننة للضبط ومنها 10 ، 25 ، 50 ، 100 ، 150 ، 200 ، 500 ف. أ. وتعرف باسم stepped output transformers ويصلح هذا الطراز للجهد أعلي من 220 ك. ف. حيث يرتفع في المقابل تكلفة المحولات من النوع المغناطيسي السابق ويزداد الفقد الكهربائي فيها مما يعطي الميزة لاستخدام هذا النوع السعوي من محولات الجهد في شبكات الجهد العالي والفائق.

2- محولات للربط Coupling VT

أنها محولات خاصة تعمل مثل المرشحات الكهربائية والإلكترونية حيث أنها تختص بالعمل مع دوائر الكاريار carrier وهي المستخدمة عند أطراف المحطات لاستقبال الذبذبات العالية HF والمستخدمة في وسائل الاتصال أو القياس وجميعها تعمل بعزل كهربائي وهو إما بزيت المحولات أو بالغاز العازل SF6 بالنسبة لمحولات الجهد ويتعرض محولات الجهد عادة إلي قيمة الخطأ error الحادث فيه (σ) وهو ما يأخذ الشكل الرياضي:



الشكل رقم 2-3 : محول جهد سعوي

$$\sigma = \frac{(K_s V_s - V_p) \times 100}{V_p} \quad \% \qquad (2\text{-}1)$$

تظهر هنا أن قيمة الخطأ في حساب الجهد الثانوي يعتمد علي قيمة الجهد الذي يقاس فعلا بينما النسبة بين الجهدين المقننين nominal أو عدد اللفات لكل من الملفين الابتدائي والثانوي حيث أن النسبة المئوية تكون موجبة إذا كانت القيمة تحت القياس أكبر من المقنن وهي تحتاج إلي إضافة ملفات للتعويض فتزيدها لتغطية العجز في قيمتها وتصبح موجبة لقيمة القدرة المقننة الصغيرة لدائرة الفصل بينما تتغير إلي سالبة مع القدرة الكبيرة، أما بالنسبة للزحزحة في الزاوية α بين الجهد الابتدائي ومعكوس الجهد الثانوي فتعطي قيمة موجبة عندما يكون الجهد الابتدائي هو المتأخر وعند الجهود الفائقة نحتاج إلي تقليل الفقد وتصغير الخطأ فنلجأ إلي استخدام السعة capacitance بدلا من الملفات كما يعرضها الشكل رقم 2-3 حيث نجد أطراف الثانوي علي الثغرة الأولي gap وهو ما يقلل الخطأ بقدر كبير. من الجهة الأخري تتواجد العلاقات الرياضية بين هذه الجهود تبعا للدائرة المكافئة علي النحو المبين في المعادلة:

$$V_s = E_s - I_s \, (Z_s + Z_b) \qquad (2\text{-}2)$$

$$V_p = E_p + I_p Z_p \qquad (2\text{-}3)$$

من المعادلتين وللمحول المثالي ideal وهو ما يعني أن:

$$I_e = 0 \; , I_p Z_p = 0 \; , \; K_s = V_p / V_s \; \& \; \text{Angle of } V_p \; \& \; V_s = -180^o$$

بينما للمحول الفعلي actual حيث

$$(K\, V_s \neq V_p)$$

فنحصل علي قيمة واضحة للخطأ كما جاء في المعادلة 2-1، ويظهر الخطأ في قياس الجهد (مبين في الجدول رقم 2-1) حيث تعطي القيمة للحدود بين 0.8 - 1.2 من الجهد المقنن وفي إطار المجال (0.25 – 1) من القدرة المقننة مع معامل القدرة بقيمة 0.8، علاوة علي ذلك نجد أن الخطأ في أوقات القصر fault وبنفس القدرات المقننة بالجدول 2-2 ولجهد ابتدائي من 0.05 إلي (V_f) حيث تنخفض القيمة بشدة ويبين الجدول رقم 2- 3 قيمة الخطأ المسموح به في محولات الجهد.

يأتي معامل الجهد voltage factor (V_f) أيضا كمعامل أساسي ليمثل الحد الأدنى minimum للجهد العامل بنظام وحدات الوحدة per unit نسبة إلي قيمة الجهد المقنن للمحول full load وهو من المعاملات الهامة لتشغيل المتمم بطريقة سليمة ولتأكيد دقة القياس حتى في أثناء لحظات القصرduring short circuit، كما تتم زحزحة نقطة التعادل neutral point مع الأخطاء والتوصيل بالأرض كظاهرة هندسية خصوصا في النظم غير المؤرضة unearthed أو تلك المؤرضة من خلال معوقة impedance أو مقاومة مما يرفع الجهد علي الأوجه غير المصابة بالخطأ non-faulty phases ويسمح هذا المعامل للقياس السليم بفترة زمنية طبقا لما جاء في الجدول رقم 2-3.

الجدول رقم 2-1 : حدود الخطأ في محولات الجهد

مستوى الدقة	الخطأ في نسبة الجهد (%)	الزاوية α دقيقة	غرض الاستخدام	تطبيقات
0.1	± 0.1	± 5	قياس	في المعامل
0.2	± 0.2	± 10	قياس	في المعامل
0.5	± 0.5	± 20	قياس	في المصانع
1.0	± 1	± 40	قياس	في المصانع
3.0	± 3	±120	وقاية	قياس ووقاية
5	± 5	± 300	وقاية	قياس ووقاية
10	± 10	غير محددة	جهد متبقي	متمم اتجاه

الجدول رقم 2-2 : حدود الخطأ الإضافية لمحولات الجهد في دوائر الوقاية

مستوى الدقة	الخطأ في نسبة الجهدين (%)	الزاوية α (دقيقة)
3P 6P	3 ± 6±	120 ± 240 ±

من الجهة الأخرى ولضمان دقة القياس من محول الجهد يجب أن تكون معوقة الملفات بقيمة صغيرة إضافة إلي ضرورة تقصير أطراف الخروج leads من الملفات الثانوية تقليلا لهبوط الجهد voltage drop مشيرا إلي أهمية تقصير مسارات أسلاك التوصيل في دوائر محولات الجهد بشكل رئيسي.

الجدول رقم 2-3 : الحدود القصوى للفترة الزمنية لقياس الجهد بدقة

معامل الجهد	مقنن الزمن	طريقة توصيل الملف الابتدائي وحالة تأريض الشبكة
1.2	مستمر	بين الخطوط – بين نقطة ستار والأرض
1.2	مستمر	بين الخط والأرض – مؤرض فعال
1.5	30 ثانية	بين الخط والأرض – مؤرض فعال
1.2	مستمر	بين الخط والأرض في نظام غير مؤرض مع فصل تلقائي لخطأ الأرض
1.9	30 ثانية	بين الخط والأرض في نظام غير مؤرض مع فصل تلقائي لخطأ الأرض
1.2	مستمر	بين الخط والأرض في نظام معزول عن الأرض بدون فصل تلقائي لخطأ الأرض
1.9	8 ساعات	بين الخط والأرض في نظام معزول عن الأرض بدون فصل تلقائي لخطأ الأرض

نستطيع حماية ملفات محولات الجهد في دائرة الابتدائي باستخدام مصهر HRC fuses وذلك للجهد حتى 66 ك. ف. بينما يستعان بالمفاتيح الآلية miniature circuit breaker بدلا من ذلك في الثانوي مع الجهد الأعلى بشرط أن يكون أقرب ما يمكن من ملفات الثانوي لأن القصر في الثانوي يمرر تيارا أكثر عدة مرات من المقنن بينما في الابتدائي يكون صغيرا في ذات الوقت وغير ملموس القيمة وقد لا يحدث فارق ذو حساسية كافية في حالة القصر.
هنا نجد الملفات التي تخص المحولات VT هذه تتنوع في ثلاث أشكال هي:

1- الشكل (V-V)
هو ذلك المحول ذو الملفات بالتوصيلات التي علي شكل الحرف الإنجليزي V وهو بذلك يكون ملائما لقياس القيمة ولذلك يكون هو الخاص باستخدامات القياس.

2- الشكل نجمة / نجمة (star- star)
هذا المحول مكتمل التوصيلات ولذلك يكون قادرا علي نقل الرؤية كاملة عن الشبكة الكهربائية الحقيقية (الدائرة الإبتدائية) ولهذا فهو الشكل الخاص بأعمال الوقاية.

3- الشكل دلتا المفتوحة (delta-delta)
يستخدم المحول ذو ملفات الثانوي الثلاث أوجة الموصلة معا في شكل توالي وهو ما يسمي دلتا المفتوحة في حالة خاصة جدا وهو بهذا يكون المتخصص لحالات الوقاية بالجهد المتبقي (Residual Voltage).

نشير إلي أن هذه المحولات والتي تعمل مع أجهزة الوقاية تخضع للمقننات القياسية وتعطي كل منها مقننا للبردن وهو يزداد مع الجهد كما نراه في الشكل رقم 2-4. وبالتالي تتحدد مقننات محولات الجهد بعدد من النقاط الأساسية هي:

أ) مقنن الجهد الابتدائي والثانوي
rated primary & secondary voltage

ب) مقنن ذبذبة المنظومة **supply frequency**

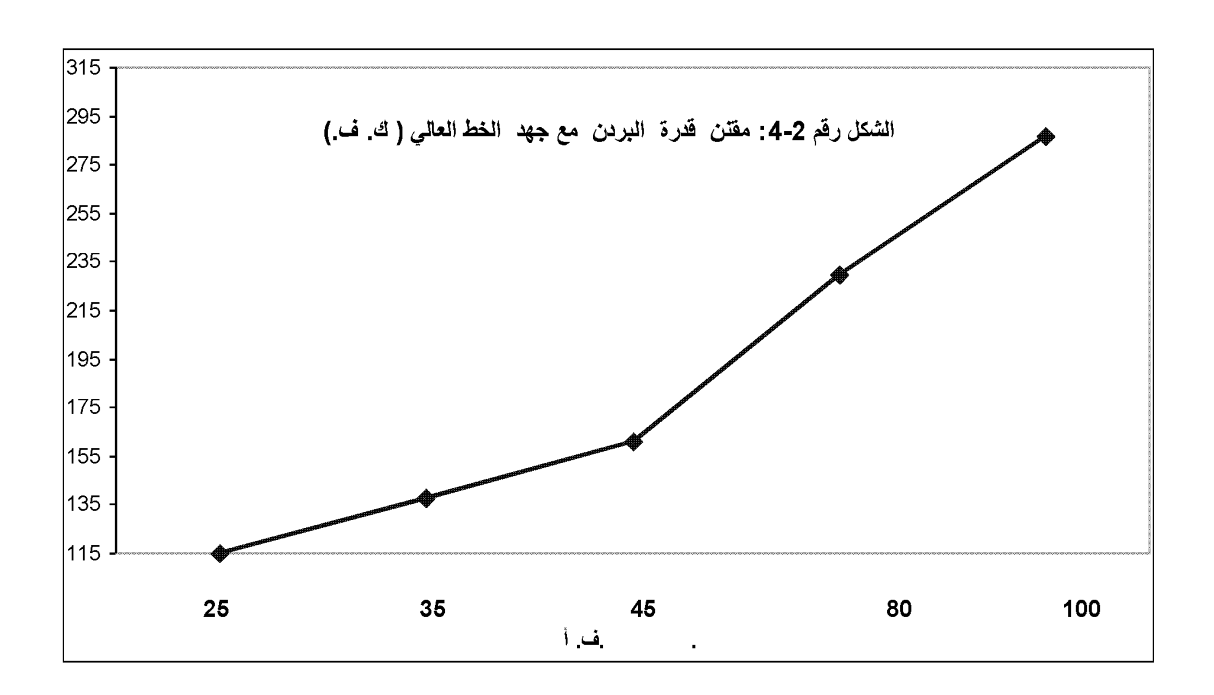
ج) مقنن البردن **rated burden**

د) مستوى الدقة **class of accuracy**

هـ) عدد الأطوار **number of phases**

و) مستوي العزل **insulation level**

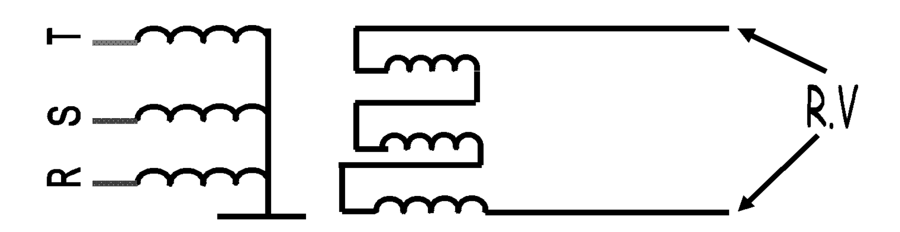
ي) الأبعاد **dimensions**



الشكل رقم 2-4: مقنن قدرة البردن مع جهد الخط العالي (ك. ف.)

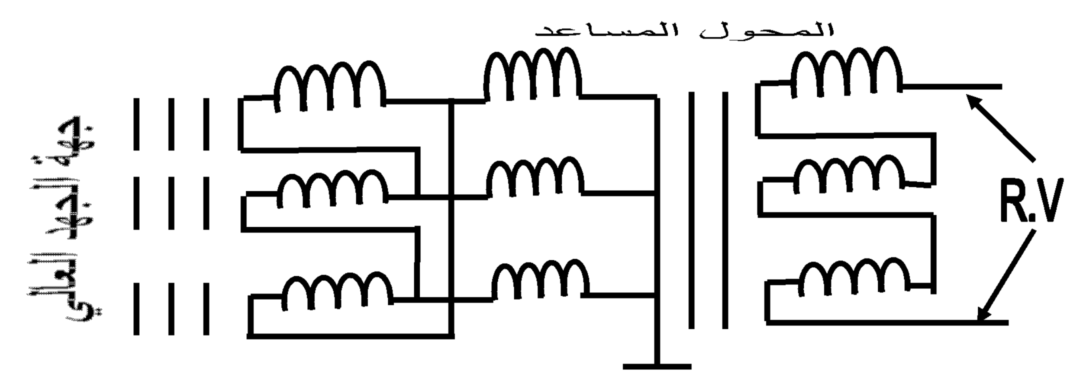
تستخدم فكرة مجموع جهود الأطوار في النظم المتماثلة المستقرة حيث يكون صفرا في الحصول علي قراءة محددة لقيمة الجهد الصفري والمعروف باسم الجهد المتبقي **Residual Voltage** والذي يأخذ قيمة غير صفرية وبالتالي يشير إلي

حدوث خطأ ما في الشبكة مما يستدعي الفصل التلقائي في حالات الخطأ لأحد الأطوار مع الأرض (single phase to earth) ويمكننا التوصل إلي ذلك الجهد (.R. V) في شكل الدلتا المفتوحة opened delta والتي تظهر في الشكل رقم 2-5. كما نحصل علي ذلك عمليا بتوفير محول له عدد 5 من Limbs بحيث يخصص 2 منهم في الجانبين بدون ملفات أوجه وذلك لمساعدة ظهور الفيض المغناطيسي لتواجد المركبة الصفرية من الجهد (الفيض) وبهذا نستطيع فعلا الإحساس بتواجد القصر في أحد الأطوار أو أكثر مع الأرض ومن ثم نعطي الأمر بالفصل تلقائيا.



شكل رقم2-5: الجهد المتبقيR.V

هذه الفكرة غير ممكنة مباشرة في الموقع حيث توضع جميع محولات الجهد فردية الطور single phase type وبقلب مستقل لكل منها وبالتالي لا يمكننا خلق مسارا لمجموع الفيض داخل هذا التوصيل نتيجة عدم وجود قلب مغناطيسي واحد للثلاث أطوار وإختفاء الجانبين الخاصين بالفيض للمركبة الصفرية مما يتطلب في مثل هذه الحالات (وهي الواقع فعلا) أن يضاف محول جهد مساعد auxiliary VT علي الجهة الثانوية لمجموع المحولات بالموقع ومن ثم يوضع في تصميمه هذه الفكرة وبشرط أن يتم تأريض الملفات الثلاث الأولية حتى يستطيع الملف الثانوي (دلتا مفتوحة) من الاستشعار للجهد الصفري V_o ويبين هذا الوضع ما جاء بالشكل رقم 2-6.



الشكل رقم 2-6 : دائرة محول الجهد المساعد للحصول علي الجهد المتبقي في الدائرة الثانوية

في هذه الحالة يتم قياس المركبة الصفرية للجهد علي طرفي الدلتا بقيمة:

$$\text{Voltage across} = 3V_{so} = V_{sR} + V_{sY} + V_{sB} \qquad (2\text{-}4)$$

يقابل ذلك من البداية ذلك الجهد الصفري في الملف الثانوي بقدر:

$$\text{Voltage main} = 3\ V_{po} = V_{pR} + V_{pY} + V_{pB} \quad (2\text{-}5)$$

يجب أن تخضع هذه القيمة لمبدأ النسبة التحويلية للمحول بين القيمة الثانوية والابتدائية علي النحو:

$$K = \frac{3\ V_{po}}{3\ V_{so}} \quad (2\text{-}6)$$

الفارق في هذه النسبة هو المتسبب في ظهور الخطأ والسابق الإشارة إليه. هذه الدوائر عموما تستخدم بكثرة في عدد من الحالات مثل:

أ) وقاية زيادة التيار/ أرض Earth Over Current

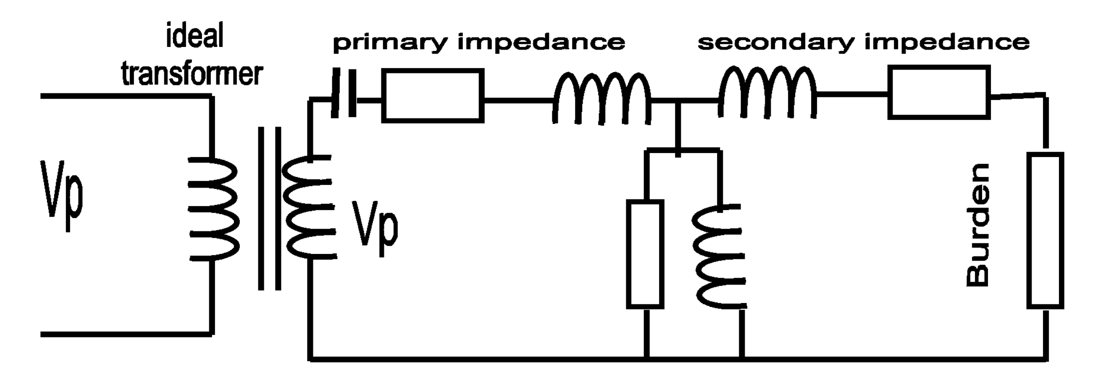
ب) التسرب الأرضى المحظور Restricted Earth Leakage

ج) خطأ الأرضي كإتجاه Directional Earth Fault

د) وقاية المسافة للتوصيل مع الأرض *Distance Protection with Earth*

هـ) متممات الإشارة للخطأ مع الأرض Signal Relay For Earth

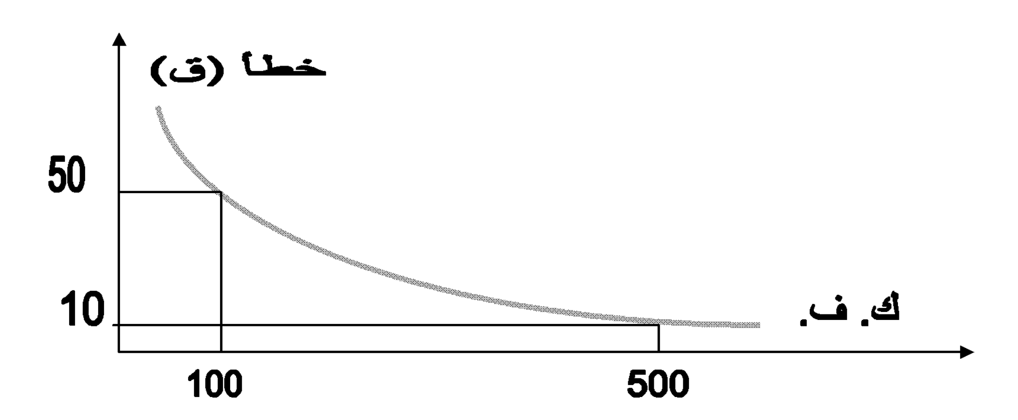
إن لم تؤرض ملفات المحولات الأصلية ungrounded systems أو تلك المؤرضة من خلال معوقة impedance فتظهر التوافقيات harmonics وبالأخص الثالثة في الدرجة 3rd harmonic ويتم الإعتماد عليها في حساب الجهد المتبقي بدلا من القيمة الصفرية السابق ذكرها.



الشكل رقم 2-7: الدائرة المكافئة لمحول جهد سعوي

بهذا الأسلوب نستطيع التغلب علي هذه الظاهرة مع هذه الدائرة . ومن الجهة الأخرى نجد حالة التيار المفاجئ inrush current عند توصيل محولات القدرة كحالة انتقالية transient إضافة إلي بقاء جزءا من الفيض residual flux في

الملفات الابتدائية قد يساعد علي مرور تيار circulating current في المتمم حيث قراءة أمبير لفة ampere turn تعلو عن تلك للمتمم burden ولهذا تؤخذ بعين الاعتبار هذه الحالات، ويضاف إلي هذا أيضا تلك حالات الرنين resonance مع محولات الجهد السعوية capacitance VT لتواجد السعة والملف coil في دائرة الوقاية فيساعد عل الرنين التوالي series resonance (الشكل رقم 2-7) وجدير بالذكر أن هذا المحول باهظ الثمن إلا أنه يمثل ضرورة مع الجهد الفائق كما هو موضح في الشكل رقم 2-8 حيث نري أن معدلات مجال الخطأ duration error تقل بشدة مع رفع الجهد وهو ما يميز إستخدام هذا المحول السعوي.



الشكل رقم 2-8: مدي الخطأ الزمني لمحولات الجهد السعوية

من ناحية أخرى يمكن التغلب علي مشكلة هذا النوع من المحولات في مجال الاختبارات علي وجه الخصوص بناء علي نظرية المحولات المتتالية حيث يتم التخلص من تواجد السعة عموما ويزاد مستوي من محولات متتالية بحيث يأخذ الملف الابتدائي لكل مستوي من الملف الثانوي للسابق له وتمتلك وزارة الكهرباء في مصر مثل هذا المحول في معمل فريد ووحيد وهو معمل الجهد الفائق بالطريق الصحراوي بين القاهرة والإسكندرية.

مثال 2-1:

في الشكل 2-9 أختبر توصيلة محول الجهد دلتا المفتوحة إذا كان الجهد الطوري للشبكة الكهربية بالكيلو فولت هو:

$V_{AB} = 230 \angle 0^\circ$
$V_{BC} = 230 \angle -120^\circ$
$V_{CA} = 230 \angle +120^\circ$

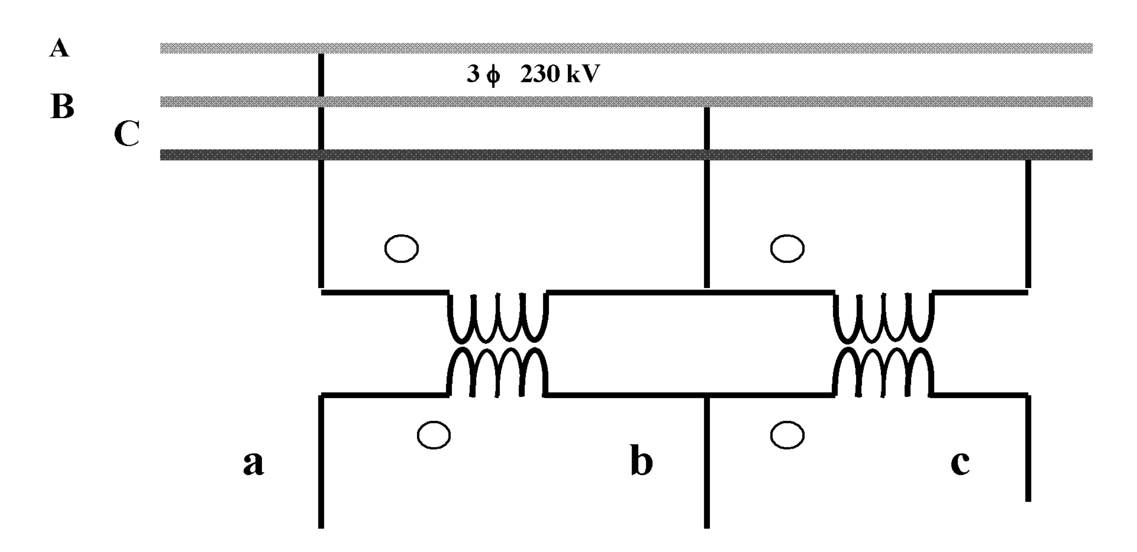
مقنن كلا من محولي الجهد هو 240 kV / 120 V

المطلوب هو إيجاد قيمة كلا من V_{ab} و V_{bc} و V_{ca} وذلك في كلا من الحالات التالية:

أ) نقاط القطبية كما علي الرسم
ب) نقاط القطبية تتحول من النقطة b إلي النقطة c.

الحل:

أ) نسبة التحويل هي



الشكل رقم 2-9: توصيلة الدلتا المفتوحة لمحولي الجهد

$(N_1 / N_2) = 240\ 000 / 120 = 2000 / 1 = 2000$

$V_{ab} = (1 / 2000)(230\ 000 \angle 0^\circ) = 115 \angle 0^\circ$ V

$V_{bc} = (1 / 2000)(230\ 000 \angle -120^\circ) = 115 \angle -120^\circ$ V

$V_{ca} = (1 / 2000)(230\ 000 \angle +120^\circ) = 115 \angle +120^\circ$ V

ب) في حالة تغيير القطبية

$V_{ab} = 115 \angle 0^\circ$ V

$V_{bc} = -115 \angle -120 = 115 \angle 60^\circ$ V

$V_{ca} = -(V_{ab} + V_{bc}) = 199 \angle -150^\circ$ V

تتعرض محولات الجهد إلي بعض العيوب والأخطاء أثناء عملها ونضعها في نقاط مركزة للإيضاح في السطور القادمة:

1- عيوب في الدائرة الثانوية Secondary Circuit Defects

تتعرض الدائرة الثانوية لكثير من الأعطال أو الأخطاء وتعتبر عندئذ من أول وأكثر العيوب شيوعا لما ينتج عن كثرة التعامل معها سواء بالاختبار أو بالتشغيل أو بالصيانة ولها من التفتيش والمعاينة أيضا جزءا من الأسباب وبذلك يرتفع التيار بها مما يزيده بالتبعية في الناحية الابتدائية مسببا عمل المصهر لملف الابتدائي أحيانا مما قد يعطل أداء العمل المطلوب أحيانا.

2- عيوب في الأجهزة العاملة بالدائرة الثانوية Devices Defects

الدائرة الثانوية لمحولات الجهد تحتوي علي العديد من الأجزاء تبعا لنوعية القياس أو دائرة الوقاية المختصة مما يعرضها إلي الأخطاء حيث أن هذه الأجهزة متباينة في الأداء والأهمية ولذلك تنحصر هذه الأجهزة في نوعين:

النوع الأول:

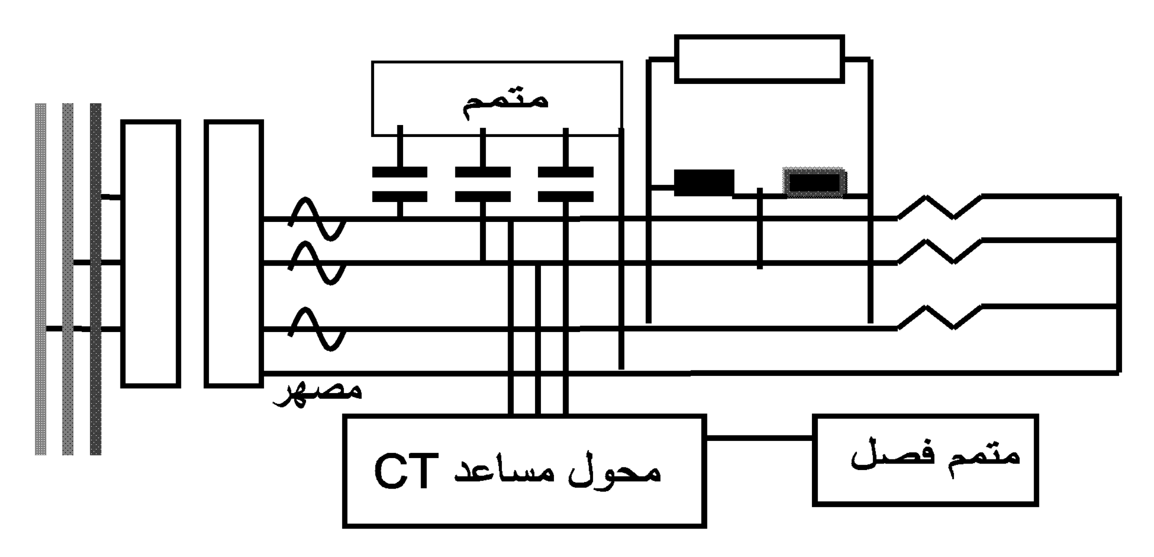
يشمل إما المتممات أو المكونات الكهربائية الأخرى المشتركة بالدائرة ويظهر علي سبيل المثال من الشكل رقم 2-10 تلك الأجهزة ففيها مكثفات ومقاومات بجانب نفس المتممات بما فيها تلك المساعدة وهو ما يعطي فرصة لحدوث عيب إذا ما حدث كسر أو عيب في مكونات الدائرة ولهذا يجب التعامل مع أجزاء الدائرة بعناية بالغة.

النوع الثاني:

يشمل الأجهزة التي تقوم بالمقارنة بين الكميات في حالة محولات الجهد متعددة الملفات الثانوية

3- عيوب بالدائرة الابتدائية

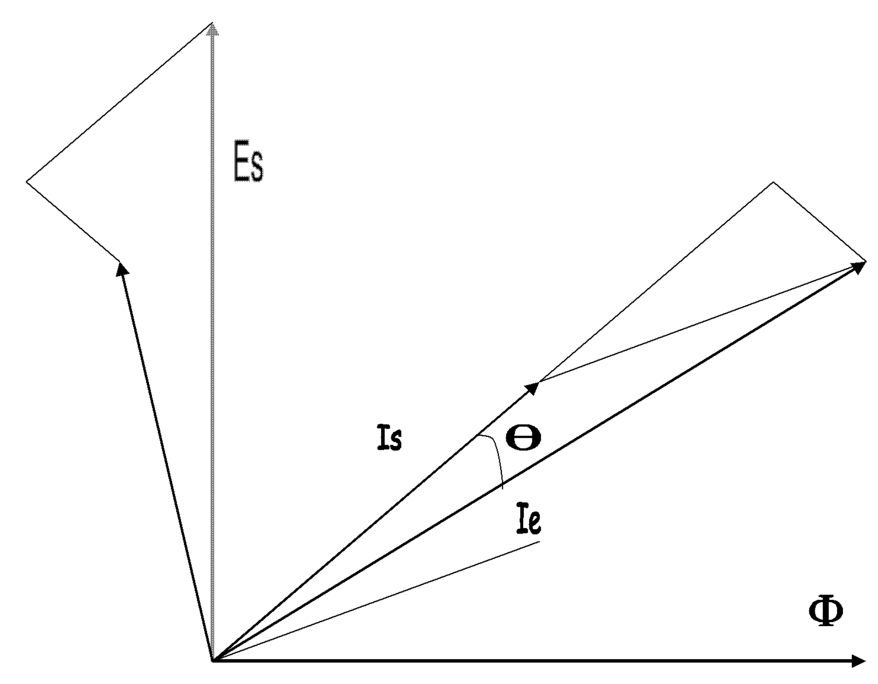
تظهر أحيانا بعض العيوب في الدائرة الإبتدائية لمحول الجهد وإذا ما كان زيادة للتيار فتتسبب مباشرة في عمل المصهر مما يؤدي إلي توقف العمل الخاص بالمحول وهذا يعتبر تعطيلا عن الأداء مما يقلل معامل الإعتمادية لدوائر الوقاية وبالتبعية وثوقية الشبكة الكهربائية.



الشكل 2-10: دائرة رمزية لتوصيل محولات الجهد ومكوناتها

2-2: محول التيار Current Transformer

يقوم محول التيار CT بذات الخاصية السابقة لمحول الجهد VT ولكن يستبدل الجهد بالتيار كما أن الملفات الابتدائية primary winding هنا تختلف عن تلك لمحولات الجهد حيث تكون هنا لفة واحدة في المعتاد بينما تكون كثيرة وذات مقاومة عالية في محول الجهد كي يمر تيار ضئيل small current في الملف الابتدائي وهي تستخدم أكثر من ملف للجهة الثانوية فمنها ما نحتاجه للقياس measurement أو التسجيل recording ومنها ما يلزم دوائر الوقاية protective circuits وقد تكون أكثر من نوعية وقاية ويجب أن يخصص لكل منها ملف مستقل individual secondary winding.
في هذه الحالة يتم توصيل المتمم relay مباشرة داخل دائرة الملف الثانوي بحمله المقنن burden (شكل 2-1) منفردا وهذه الدائرة المكافئة تعمل طبقا لمتجهات التيارات والجهد الموضحة في الشكل رقم 2- 11 حيث يختفي من الرسم متجهات الجهد في الملف الابتدائي وهذا ما نستطيع إدراكه من قبل، وتمثل الزاوية θ بين تياري الابتدائي والثانوي قيمة زاوية الخطأ ويمثل التيار قيمة التيار المغناطيسي في الدائرة المكافئة كما موضح في الشكل 2-1. كما نستطيع الحصول علي ذات المعادلات برقم 2-2 و 2-3 والتي سبق الحصول عليها لمحولات الجهد لأن الدائرة المكافئة هي نفسها مع الإعتماد علي تحويل التيارات بدلا من الجهد.



الشكل رقم 2-11 : متجهات التيار والجهد في محولات التيار

إضافة إلي ما سبق يمكننا تحديد بعض الأسس للتعامل مع هذه الدوائر ونضعها في نقاط محددة علي النحو التالي:

1- يتم تمثيل الدائرة المكافئة equivalent circuit بشكلها العام والموضح سابقا في الشكل رقم 2- 1 وذلك في شكل الطور الواحد single phase

2- معوقة الملف الابتدائي primary impedance كبيرة بالنسبة لتلك في الثانوي secondary وعادة ما تؤخذ كمقاومة resistance

3- فرعي both branches تمثيل التأثير المغناطيسي magnetic effect يدخلان في الاعتبار وبقيمة أقل عن تلك لمحولات الجهد VT

4- لا تؤثر قيمة مقاومة الحمل burden بشكل واضح في دائرة الملف الثانوي secondary circuit داخل نطاق التغير المحدد للتشغيل وعادة ما يؤخذ مجالا لعمل الدائرة كي نبتعد عن العيوب وإن لم يكنمكنا بشكل تام فعلي الأقل تقليص هذه العيوب أو تأخير حدوثها.

5- لا يجوز قطع interruption دائرة الملف الثانوي secondary circuit أثناء تواجد تيار للارتفاع الهائل في قيمة الجهد لوجود خصائص التشبع المغناطيسي saturation الناتج في الفيض flux بالقلب المغناطيسي حيث يتسبب في رفع الجهد الهائل مقابل القيمة الصفرية للتيار المفاجئة.

6- يوجد خطأ error ليس فقط في قيمة التيار الفعلي actual current بل أيضا في زاوية الإزاحة phase displacement وذلك نتيجة تواجد التأثير المغناطيسي والخواص غير الخطية المصاحبة للعلاقة بين الجهد والتيار V/I characteristic في الملف الثانوي.

7- يمكن حساب قيمة الخطأ إذا عرفت قيمة المقاومة أو الممانعة لكلا من مقاومة حمل المتمم burden impedance ومعوقات التأثير المغناطيسي magnetic impedance

8- يجب ألا يزيد مقنن الملف الثانوي rating لمحول التيار عن ما يخص حمل المتمم burden بجانب ما قد يدخل في الدائرة معه

يلزم وضع محاور التعامل مع محولات التيار في دوائر الوقاية لدراسة خصائص الأداء علي النحو التالي:

المحور الأول: الخطأ Error

يعتبر الخطأ في قيمة التيار المحدد لتشغيل متمم ما من أهم المعاملات المؤثرة علي درجة دقة وفعالية الأداء وأي خطأ في هذه القيمة قد تنتج أخطارا لا حدود لها ولهذا يجب التعامل مع هذا النوع من الخطأ بمنتهي الدقة والبعد عن أماكن حدود الدقة ولهذا ينقسم الخطأ في دائرة الملف الثانوي لمحول التيار كما يلي:

1- الخطأ في القيمة Value Error

يظهر الخطأ عموما نتيجة الفارق difference بين كلا من تياري الملف الابتدائي والثانوي وهو ما يعني التيار المغناطيسي magnetic current المار في فرعي المعوقة المغناطيسية أو المعروف باسم exciting current ويظهر في الجدول رقم 2-4 هذه القيمة لبعض من مستويات الدقة accuracy classes والتي تخص محولات التيار CT المستخدمة في مجال الوقاية protection . وجدير بالذكر أن هذه القيمة محددة بالنسبة المئوية لكلا من الاتجاهين الموجب (+) والسالب (-) وذلك في نطاق تغير قيمة البردن burden من 25 % وحتى 100 % حيث يمثل مجالا واسعا للتغير غير أنه هناك أكثر من تلك المستويات في المواصفات العالمية standard وبالرغم من ذلك فان هذه القيمة وحدها لا تكفي لتعريف الخطأ حيث يوجد أخطاء أخرى كما يتضح من الشرح التالي في البنود القادمة. هذا الخطأ يتم التعبير عنه بنفس السياق السابق لمحولات الجهد بالصورة:

$$\sigma = (K \; I_s - I_p) \times 100 \; / \; I_p \quad \% \qquad (2\text{-}7)$$

الجدول رقم 2-4 : حدود الخطأ في قيمة التيار لبعض محولات التيار (%)

مستوي الدقة	من 10 حتى قبل 20	من 20 حتى قبل 100	من 100 حتى 120
0.1	0.25 ±	0.2 ±	0.1 ±
0.2	0.5 ±	0.35 ±	0.2 ±
0.5	1 ±	0.75 ±	0.5 ±
1	2 ±	1.5 ±	1 ±

هذه هي القيمة التي تحدد دقة الوقاية والأجهزة العاملة فيها.

2- الخطأ في زاوية الإزاحة Phase Displacement

يظهر هذا النوع نتيجة لتواجد التيار المغناطيسي في الفرع الحثي inductive branch ويكون صغيرا مع القيمة العالية لحمل المتمم الحثيinductive burden حيث يمكن اعتبار التيار والجهد في الملف الثانوي في ذات الاتجاه in phase في حالة معاملي القدرة الوحدة لحالة الدائرة خالصة المقاومات أو الصفري للدائرة الحثية بلا مقاومات (كحالة تقريبية تبعا للقيمة الممكن إهمالها). يقدم الجدول رقم 2-5 تلك القيمة في الخطأ التي تتواكب مع البيانات التي وردت في الجدول رقم 2- 4 للخطأ في القيمة فقط وبذلك يكتمل تعريف الخطأ وذلك لنفس المدى المعطي من قبل.

الجدول رقم 2-5: حدود الخطأ في زاوية الإزاحة لبعض محولات التيار لنطاق 25 - 100 % من البردن

مستوي الدقة	من 10 حتى قبل 20	من 20 حتى قبل 100	من 100 حتى 120
0.1	10 ±	8 ±	5 ±
0.2	20 ±	15 ±	10 ±
0.5	60 ±	45 ±	30 ±
1	120 ±	90 ±	60 ±

مثال 2-2:

في الدائرة المكافئة المعطاه في الشكل رقم 2 - 2 ، يلزم إيجاد قيمة الخطأ وحدوده في الحالات المختلفة حيث محول التيار بمقنن بالنسبة 300 /5 أ والجهد 11 ك. ف. والبردن بقيمة 10 ف. أ.، أوجد التيارات المقننة والحدود الخاصة بتغير البردن (X_e=50 Ω ، R_e =150 Ω - مقاومة الثانوي 0.2 Ω).

الحل:

من مقنن الجهد نحصل علي القيم في الطور الواحد وهي

الجهد المقنن = 11 / √3 = 6.35 ك.ف

نحصل علي قيمة معوقة الابتدائي Z_p وهي

$$Z_p = V_p / I_p = 6.35 / 300$$

وهي بقيمة 2.21 Ω وتتحول هذه القيمة في الدائرة المكافئة بنسبة مربع نسبة التحويل فتصبح

$$Z = Z_p \times r^2 = 21.2 \times (300 / 5)^2 = 76.2 \quad k\Omega$$

أما مقاومة المتمم كمقاومة فقط نضعها بقيمة = 10 / مربع التيار المقنن = 10 / 25 = 0.4 Ω

يكون الخطأ أسوأ ما يمكن مع الحمل الحثي inductive burden فيصل إلي – 1.2 % وإذا كانت النسبة هي 2 : 120 يرفع الخروج إلي 0.83 % وتاركا الخطأ الكلي بقيمة – 0.37 % وفي حالة الحمل الصفري zero burden يصل الخطأ إلي + 0.7 % إذا أهملت المعوقة الحثية leakage reactance للملف الثانوي. جدير بالإشارة إلي أن هذه القيم هي الناتجة عن إحتساب كل من الحالات قرين القيمة في كل فرض سواء لقيمة البردن أو التأثير المغناطيسي. فنجد أن مستوي الدقة يعتمد علي نسبة التحويل لمحول التيار كما في الجدول رقم 2-6.ويبين الجدول أن هذه القيمة ثابتة وتعتمد علي مستوي الدقة للمحول تبعا للمواصفات المحددة لهذا المستوي.

الجدول رقم 2-6: حدود الخطأ في القيمة مع تغير البردن من 50 إلي 100 %

مستوي الدقة	نسبة تحويل 50	نسبة تحويل 120
3	3 ±	3 ±
5	5 ±	5 ±

3- تعويض الخطأ Error Turns Compensation

يلزم توضيح أننا هنا بصدد ثلاث أنواع من معامل النسبة وهي ما يمكن التعبير عنها علي النحو التالي:

النسبة المقننة العادية K_n = مقنن التيار الابتدائي / مقنن التيار الثانوي (2-8)

نسبة اللفات K_t = عدد لفات ملف الابتدائي / عدد لفات ملف الثانوي (2-9)

النسبة الحقيقية K_{ac} = تيار ابتدائي فعلي / التيار الثانوي الفعلي (2-10)

بالنظر إلي هذه المعادلات الثلاث نجد أننا نحتاج إلي مزيد من الدقة وبيان تأثير كل منها، حيث يجب التقليل في قيمة الخطأ من خلال تقليل عدد لفات الملف الثانوي secondary turns بلفة أو اثنين لتعويض الزيادة المتوقعة في التيار بالدائرة الثانوية وتعويض التيار المغناطيسي الكلي فيقل الخطأ إلي قيمة صغيرة يمكن إهمالها neglecting فعليا كما في الدائرة الموضحة بالشكل رقم 2-1. من الهام أيضا أن نشير إلي أن التيار الفعلي وقت القصر يزداد بقيمة كبيرة عن المقنن لأنه يمر لفترة قصيرة وبالتالي نحتاج إلي تحديده بدقة بقدر الإمكان خصوصا وأن أسوأ خطأ يظهر مع البردن Burden الصغيرة كمقاومة مع إهمال الممانعة بينما يظهر هذا أيضا رياضيا بالإطلاع علي النسبة لقدرتي البردن والمحددة بالمعادلة:

قدرة بردن / قدرة ضبط بردن = (تيار ثانوي مقنن / التيار المضبوط للمتمم)^2 (2-11)

تلك القدرة الخاصة بالبردن لها من المقننات التي يتم التعبير عنها من خلال الصورة الرياضية لمعوقة البردن:

$$Z_b = S_b/(I_s)^2 = \{R_b + j X_b\} = \{Z_b \cos\phi + j \sqrt{(Z_b^2 - R_b^2)} \sin\phi\} \quad (2\text{-}12)$$

حيث أن الزاوية ϕ هي الزاوية لمعامل القدرة الخاص بالبردن.

ففي حالة قيمة معوقة البردن الصغيرة نحصل علي تساوي تقريبي بين كلا من الجهد الخارج V والمسبب له EMF ويكون الخطأ أقل ما يمكن بينما مع القيمة الكبيرة يزيد الفيض المغناطيسي فترتفع قيمة الخطأ نتيجة لزيادة التيار المغناطيسي ولهذا السبب يجب أن تكون البردن كقيمة داخل الحيز المسموح به فقط حرصا علي دقة الأداء.

4- الخطأ المركب Composite Error

يكون الخطأ المركب ممثلا رياضيا بالمعادلة:

$$\text{Error} = (100 / I_p) \int^{T} \sqrt{\ } (K\, i_s - i_p)^2\, dt \qquad (2\text{-}13)$$

حرصا علي تبسيط الفهم والشرح نستطيع من معني هذه المعادلة أن نضع الصيغة المبسطة لها بالصورة:

$$\text{Composite Error} = \text{RMS secondary current (ideal – actual)} \qquad (2\text{-}14)$$

هذه المعادلة تشمل الخطأ في القيمة وكذلك الزاوية بالإضافة إلي تواجد الموجات التوافقية harmonics والتي عادة تتواجد في التيار المغناطيسي exciting current والذي يتميز بالصفات غير الخطية nonlinear نتيجة الموجات التوافقية ويزداد تأثيرها عند منطقة التشبع saturation في خواصCT، كما أنه إذا ما أهملنا الفيض المتسرب leakage flux وبدون وجود لفا ت التعويض السابق ذكرها في البند السابق فتؤول المعادلة السابقة إلي الشكل:

$$\textit{Composite Error} = \frac{\textit{RMS Exciting Current} \times 100}{\textit{Primary Current}} \qquad (2\text{-}15)$$

وهذه المعادلة سهلة الفهم حيث أن الخطأ تحول إلي نسبة مطلقة لتيارين محددين فعليا.

المحور الثاني: الدقة في محولات التيار Accuracy of CT

إن الدقة في قراءة محولات التيار تتفرع إلي المستوي المحدد لها ومنها يمكن تحديد الغرض ولذلك نجد ما هو أكثر من ذلك كما يلي:

1- مستوى الدقة Accuracy Class

يتم ترقيم مستويات الدقة لمحولات التيار تبعا للمواصفات القياسية الدولية وكلما زادت الدقة ارتفع سعر المحول لما يتمتع به من دقة في التصميم وقدرة أفضل علي الأداء فتوضع المحولات للإحساس بكميات عالية في مدى القصر وبالتالي تعمل عند تيارات عالية وأعلي بكثير عن تلك القيمة المقننة ولهذا يصبح ضروريا وضع حدود لهذه التيارات وهي ما تعرف باسم (حدود دقة التيار) " Accuracy Limit Current" ويكون التعبير عنها بقيمة التيار المقنن في الملف الابتدائي أو بالقيمة المكافئة في الملف الثانوي وهي بالصيغة:

$$\textit{Accuracy limit factor} = \frac{\textit{Accuracy Limit Current}}{\textit{rated current}} \qquad (2\text{-}16)$$

الجدول رقم 2-7: حدود الخطأ في زاوية الإزاحة لبعض محولات تيارلمقنن البردن (%)

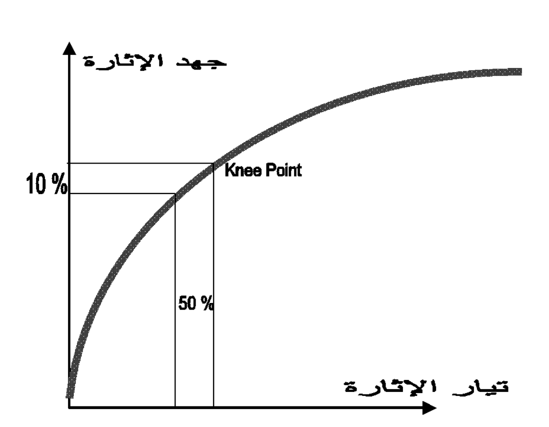
مستوي الدقة	قيمة تيار	زاوية إزاحة	خطأ مختلط (%)
5P	1 ±		5 ±
10P	3 ±	60 ±	10 ±
15P	5 ±		15 ±

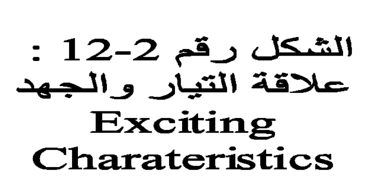
تتحدد مستويات الدقة بالترقيم: (5P , 10 P , 15 P , 20 P , and 30 P) وهو ما يظهر بعضها تبعا للمواصفات القياسية الإنجليزية British Standard في الجدولين رقمي 2-1، 2-2، وهذا يؤكد علي أن التيارات المغناطيسية magnetizing currents هي المسببة لنوعي الخطأ سواء في القيمة error ratio أو في الزاوية Displacement error لأنها تعتمد علي قيمة أمبير لفة AT الخاصة بالملف الابتدائي ونوعية القلب المغناطيسي فيه وقيمة المقاومة المغناطيسية reluctance في تلك الدائرة المغناطيسية وقد حددت المواصفات القياسية الدولية مستويات الدقة لمحولات التيار كما هو وارد كمثال في الجدول رقم 2-7 بعضا من هذه القيم المحددة لمحولات التيار عند 100 % من القيمة المقننة من البردن.

لمزيد من الشرح يمكننا القول أننا نستطيع فهم أن المستوي 30 مع بردن 10 ف. أ. يعطي إمكانية وصول تيار الثانوي إلي 9 ك.أ.، أما بالنسبة لتيار القصر مع الأرض يكون الوضع عند 10 % والدائرة المفتوحة مع خطأ متصل بالأرض يصل إلي 100 مرة مثل إذا كانت عند وضع 100 % ولهذا نحتاج إلي عملية تعويض اللفات في الثانوي لمحولات التيار مع التيارات الهائلة الناتجة للقصر مع الأرض.

2- مستوي الدقة متعدد الغرض Class X CT

للوقاية من الخطأ مع الأرض ولغيرها من التطبيقات العديدة يجب الإشارة إلي أن أقصى EMF ناتج عن محول التيار وهو ما يظهر عند بداية التشبع حيث يقابل زيادة 10 % من الجهد بقيمة 50 % زيادة في التيار (الشكل رقم 2-12) وبهذا يتم تصميم محولات التيار للأغراض المتعددة والتي تعرف باسم Class X CT حيث تحتاج إلي تحديد قيمة تيار المغناطيسية عند نقطة بداية التشبع Knee Point ومقاومة الملف الثانوي.




الشكل رقم 2-12 :
علاقة التيار والجهد
Exciting
Charateristics

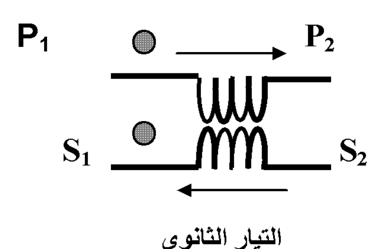
بالرجوع إلي الشكل رقم 2 – 12 نجد أن الجزء الأول من هذا المنحني والذي يبدأ بالقرب من نقطة الأصل بعد الصفر وحتى نقطة بداية الصفات الخطية الفعلية عند النقطة المسماة بالكعب ankle point حيث تبدأ بعدها المنطقة الخطية وحتى نقطة الركبة knee point فتدخل منطقة التشبع غير الخطية ولذلك في حالات الزيادة الهائلة للتيار قد تصل نقطة العمل إلي

منطقة الركبة وتسبب زيادة في قيمة الخطأ ومن هنا يلزم الحفاظ علي منطقة العمل في كل الحالات وحدود عمل الوقاية داخل المنطقة الخطية كي نحصل علي الدقة المحددة مع عدم التعرض لخطأ أكبر من مستوي الدقة المقتن للمحول.

3 - القطبية Polarity

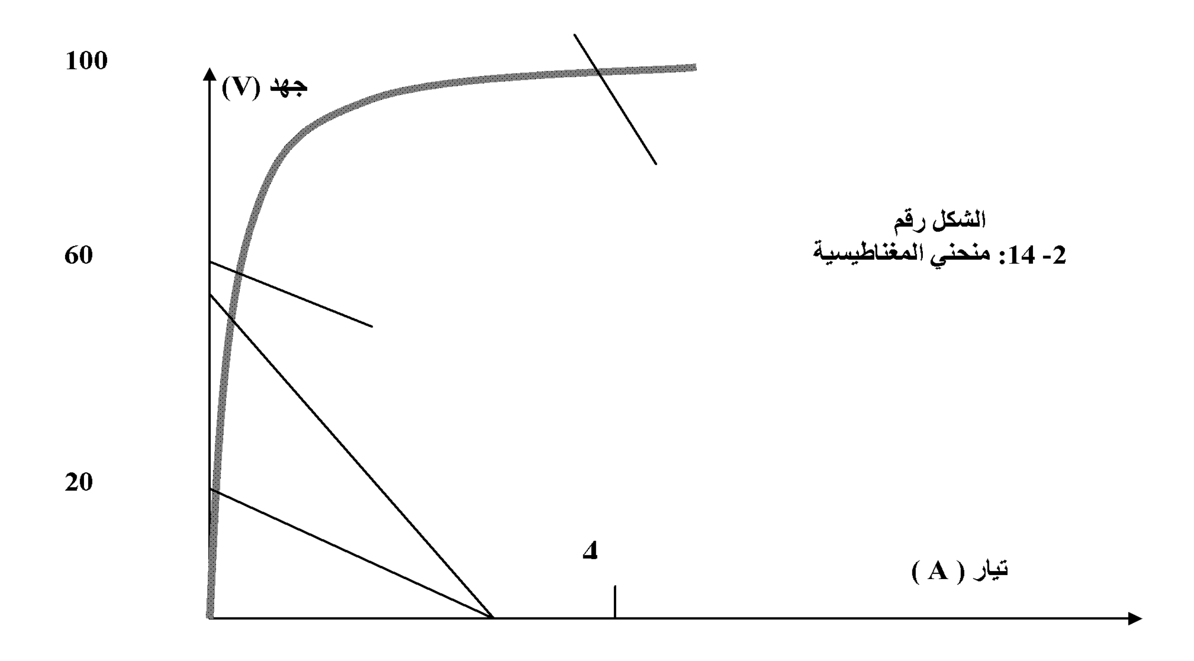
تتحدد القطبية بين اتجاه التيار في الملف الثانوي نسبة إلي نظيره في الملف الابتدائي ونجد في الشكل رقم 2-13 ذلك الشكل المبين لاتجاه التيارات في كلا الملفين محددا نقطة البداية لكل ملف برقم 1 بينما تكون نهايات الملفات بالرقم 2 وذلك من الأوضاع الهامة عند توصيل أطراف هذه الملفات في الدوائر الوقائية وخصوصا مع حالات جمع التيارات أو المقارنة بينهم.

الشكل رقم 2-13 : إتجاه التيار في محولات التيار



مثال 2-3:

محول تيار 500 / 5 له ممانعة ثانوية قدرها 0.5 Ω وله منحنى المغناطيسية المبين في الشكل 2 – 14 والمطلوب حساب قيمة تيار الثانوي والخطأ في الحالات التالية:



الشكل رقم
2- 14: منحني المغناطيسية

أ) $X_L = 4.5\ \Omega$ و $I_1 = 400\ A$ (تيار الحمل)
ب) $X_L = 4.5\ \Omega$ و $I_1 = 1200\ A$ (تيار قصر)
ج) $X_L = 13.5\ \Omega$ و $I_1 = 400\ A$ (تيار الحمل)
د) $X_L = 13.5\ \Omega$ و $I_1 = 1200\ A$ (تيار قصر)

هـ) إذا كان تيار الفصل الفعال = 8 A أوجد إذا ما كان الجهاز الفعال سوف يتأثر بتيار القصر 1200 A مع معوقة بردن بقيمة $X_L = 13.5$ و $X_L = 4.5\ \Omega$

الحل:

أ) الحالة الأولي

$$E_2 = j\,(X_2 + X_L)\,\{(N_1 / N_2)\, I_1 - I_e\} \quad ، \quad E_2 = 5\,(4 - I_e)$$

هذه معادلة خط مستقيم تتقاطع مع المنحني عند $I_e = 0.1$ A تقريبا
حيث أن

$$I_1 = I_2 + I_e = I_2 + 0.1 = 4\ A$$

وبذلك يكون تيار الثانوي هو

$$I_2 = 4 - 0.1 = 3.9\ A$$

أما بالنسبة للخطأ في هذه الحالة

$$\sigma = I_e / I_1 = 0.1 / 4 = 2.5\ \%$$

ب) الجهد الثانوي يصبح

$$E_2 = 5\,(12 - I_e)$$

وهي أيضا معادلة خط مستقيم وبالرسم (الشكل رقم 2 – 14) بالمثل فوق منحنى المغناطيسية يتقاطعان عند $I_e = 0.8$ A تقريبا ومن ثم يصبح التيار في الثانوي

$$I_2 = 12 - 0.8 = 11.2\ A$$

أما بالنسبة للخطأ في هذه الحالة σ يكون

$$\sigma = I_e / I_1 = 0.8 / 12 = 6.7\ \%$$

ج) في هذه الحالة نجد أن

$$E_2 = 14\,(4 - I_e)$$

وهي أيضا معادلة خط مستقيم وبالرسم بالمثل فوق منحنى المغناطيسية يتقاطعان عند $I_e = 0.6$ A تقريبا (الشكل رقم 2 – 14) ومن ثم يصبح التيار في الثانوي

وبذلك يكون تيار الثانوي هو

$$I_2 = 4 - 0.6 = 3.4 \text{ A}$$

أما بالنسبة للخطأ في هذه الحالة σ يكون

$$\sigma = I_e / I_1 = 0.6 / 4 = 15 \%$$

د) في هذه الحالة نجد أن

$$E_2 = 14 (12 - I_e)$$

هذه معادلة خط مستقيم وبالرسم بالمثل فوق منحنى المغناطيسية نجد أنهما يتقاطعان عند $I_e = 5.4$ A تقريبا ومن ثم يصبح التيار في الثانوي ويكون تيار الثانوي هو

$$I_2 = 12 - 5.4 = 6.6 \text{ A}$$

أما بالنسبة للخطأ في هذه الحالة σ يكون

$$\sigma = I_e / I_1 = 0.6 / 4 = 15 \%$$

هـ) مع محولات التيار المثالية نجد أن قيمة 1200 A تساوي 12 A في الملف الثانوي ومن ثم يستطيع المتمم في الدائرة أن يتأثر بهذه القيمة وفي حالة المعوقة $X_L = 4.5\ \Omega$ يكون تيار الثانوي 11.2 A وبالتالي سوف يحس المتمم لأنها قيمة أعلي من القيمة الفعالة وهي 8 A أما في حالة $X_L = 13.5\ \Omega$ فنجد أن التيار الثانوي هو يساوي 6.6A ومن ثم لن يتأثر المتمم في الدائرة لأن هذه القيمة أقل من التيار الفعال وهو 8 A

نستنتج من هذه المسألة أن خطأ محول التيار يزيد مع زيادة التيار كما يزداد مع المقاومة العالية للحمل (البردن) علي دائرة الثانوي أي مع البردن ذات المقاومة العالية، كما أن الخطأ تواجد في حالة القصر نتيجة التأثير المغناطيسي داخل المحول كما يمكن معرفته من قيمة I_e.

المحور الثالث: أنواع الملفات Types of Windings

تتباين نوعيات محول التيار تبعا لأشكال وأنواع الملفات حيث تعتمد محولات التيار علي طريقة تركيب المحولات وكذلك علي أنواع القلب المغناطيسي المستخدم والذي عادة يكون مصنوع من سبيكة الحديد مع النيكل ويستخدم في كثير من الأحيان الشرائط العازلة له وفي كل الأحوال فان أهم أنواع القلب شيوعا هو القلب الحلقي والذي يتنوع حيث الشكل إلي :

أ- الشكل الحلقي **Ring Shape**
ب- الشكل المستطيل **Rectangular Shape**
ج- الشكل البيضاوي **Oval Core**

كما يتفرع التركيب الداخلي للمحول من ناحية أخري بالنسبة لتكوين القلب شرائحيا **Laminations** فنجد منه التقسيمات التالية:

أ - شكل حرف L
ب - شكل حرف I
ج - شكل حرف C مقطوع
د - شكل حرف I مع E

نتحول الآن إلي التقسيم بناءا علي مكان وضع الملفات الثانوية داخل محولات التيار للجهد العالي وهي تتباين بين ثلاث مناطق هي:

1- المنطقة العلوية: تقع هذه المنطقة بجوار مكان أطراف الدخول حيث تعتبر هذه المنطقة غير مناسبة في أغلب الأحوال لأنها قريبة جدا من الجهد العالي مما يجعل أعمال الصيانة ذات اعتمادية منخفضة بجانب أنها تطيل مسار دائرة التوصيلات الثانوية وهو ما يجب تجنبه إضافة إلي أن هذا المكان مرتفع الحرارة وخصوصا مع الأنواع زيتية العزل.

2- المنطقة الوسطي: في هذه الحالة يتم وضع الملفات الثانوية بين القاعدة وأطراف الجهد العالي وهي منطقة وسطي وتقع عليها بعض العيوب السابقة كطول المسار وان كان أفضل عن سابقه، وقد يكون مناسبا لأنواع العزل الغازي.

3- المنطقة السفلي: تتحدد المنطقة السفلي حيث يتم وضع الملفات الثانوية عند القاعدة وهي المنطقة المناسبة (الأفضل عمليا) لأنها أبرد الأماكن حراريا بجانب أنها تنتج أقصر مسارات للأسلاك في الدوائر الثانوية بجانب التمتع باعتمادية عالية للصيانة حيث يمكن إجراء الاختبارات تحت الجهد العامل.

من الناحية الأخري تتباين أيضا ملفات محولات التيار بشكل كبير ونوجز أهمها استخداما في مجال الوقاية وهي:

1- ذو ملفات الابتدائي Wound Primary Type

هذا النوع يناسب محولات التيار المساعدة **auxiliary CT** وتلك المحولات صغيرة السعة **small** المستخدمة في شبكات التوزيع الكهربائي للجهد 11 ك. ف. كما أن أسلاك الملف الابتدائي **primary winding** تتحمل تيارات كبيرة في أوقات القصر ويهمل عادة ملفات التعويض **equalizing turns** بها ومنها مقننات مثل4 لفات في الابتدائي مقابل 80 لفة في الثانوي وبمعدلات مقننة مثل 100 / 5 أ ، 40 أمبير لفة **AT**.

2- ذو عازل الاختراق Bushing or Bar Primary Type

يتكون مثل كل المحولات من قلب حديدي حلقي **ring core** وغالبا ما تتكون الشرائح المتتالية فيه من شريط واحد طويل **single long stripe** يتم لفه بطريقة حلزونية **spiral** حول المنتصف **center** مكونا القلب، ويلف حول القلب ملفات ثانوية بحيث تلف حول كل المحيط ودون إنقاص من الدورة الكاملة لأي من اللفات ويجب أن يترك فراغا كافيا للعزل **spacing** بين طرفي البداية والنهاية له، وإذا كان الملف الثانوي متعدد الطبقات **multi layer** فيكون توزيع كل الطبقات علي طول المحيط كاملا ويمكن تباين المسافات بين الأسلاك لهذا الغرض تحقيقا للتساوي المنتظم في التوزيع علي طول المساحة أو المسافة المحددة لأي من الطبقات .

أحيانا يكون التيار الابتدائي قليلا ***small primary current*** فيصعب الحصول علي خروج **output** كاف بالدقة المطلوبة وهذا بسبب أن مقطع القلب الحديدي كبير فيحتاج إلي فيض أكبر لإنتاج الجهد ***EMF*** وكذلك بسبب قيمة الأمبير لفة ***exciting AT*** المؤثر في المجال المغناطيسي خصوصا مع الأقطار الكبيرة. ويستخدم هذا النوع مع مخارج محولات القدرة ***power transformers*** وأطراف المفاتيح الكهربائية ***circuit breakers***.

3- ذو القلب المتزن Core Balance CT

يعد هذا النوع في أغلب الأحيان وأكثر التطبيقات شيوعا عندما يستخدم للبحث عن التيار المتسرب ***earth leakage*** إلي الأرض ويستخدم عند نهايات المغذيات ***feeders*** والكابلات حيث يمر الكابل الثلاثي ***3 phase single core cable*** أو الثلاث كابلات فردية الطور***3 cables single core*** في منتصف القلب المغناطيسي ويتم تركيب المتمم **burden** علي الدائرة الثانوية وبالتالي يعمل مع مجموع التيارات الثلاث أي التيار الأرضي ***earth current*** فيوفر بذلك عدد محولات التيار ليصبح واحدا بدلا من ثلاث ويقلل التيار المغناطيسي***exciting current*** إلي الثلث تقريبا ويعطي حساسية

sensitivity كبيرة لأنه في هذه الحالة يمكن الاعتماد علي الضبط الصغير *low setting* الفعال فعلا كما يواكب كل هذا أن المقنن في الدائرة الثانوية لن يكون كبيرا بل يقابل التيار الأرضي فقط ويكون التيار العادي أثناء التشغيل صفرا *zero operation current* وهكذا يمكن اختيار الأسلاك لتتحمل المقنن*effective primary pick up current*، ولهذا النوع يجب توصيل جراب الكابل مع أرضي محول التيار.

4- محول لمجموع التيارات Summation CT

يقوم هذا المحول بجمع التيارات بالأوجه (الأطوار) المختلفة تبعا لقاعدة محددة من قبل ويتم ذلك بتوصيل خاص عند أطراف الملفات معا كي تتصل بالمتمم أو بمحول تيار مساعد*auxiliary* CT. جدير بالذكر أن هذا النوع هام وضروري خصوصا وأن هذه المحولات أصلا تركب علي الأطوار مستقلة وبالتالي لا تشترك في القلب المغناطيسي ومن ثم نكون في حاجة ماسة إلي هذا النوع للحصول علي المقابل الصفري للشبكة الأصلية سواء كان تيارا أو جهدا أو غيرهما مستنبط منهما.

5- ذو الثغرة الهوائية Air Gapped CT

هذه المحولات تستخدم كمحولات مساعدة *auxiliary* CT وتعتمد علي وجود ثغرة هوائية *air gap* في مسار الفيض المغناطيسي لإنتاج جهد ثانوي *secondary voltage* يتناسب مع قيمة التيار الابتدائي ويطلق عليه أحيانا أسم المحولات المربعة *transactors or quadrature CT* ويستخدم بكثرة في النظم وحيدة دوائر الوقاية *unit protection schemes* حيث يتمتع هذا النوع بالخواص الخطية لمدى واسع

6- محولات تيار ضخمة Over Dimensioned CT

هذا النوع يصمم خصيصا لتحمل التيارات الكبيرة والتي تصل إلي قيمة تيارات القصر **short circuit** أو التيارات الانتقالية **transient currents** كي تلائم هذه الخواص ولتدخلها نطاق الخواص الخطية ويظهر فيها الفيض المحبوس **remanent flux** ولكنها تتميز بالقدرة علي تحمل التيارات الكبيرة.

7- محول بدون فيض محبوس Anti Remenance CT

في هذا الطراز يتم تغيير مستوي المسافات الخاصة بالثغرة في القلب المغناطيسي فيقل الفيض المحبوس من 90 % إلي أن يصل إلي 10 % فقط وبذلك ندخل النطاق السليم للتشغيل وتظل الصفات الخطية مؤثرة وفعالة، ويقابل ذلك الفيض الثابت **d. c. flux** والناتج عن عدم التماثل في التيار الابتدائي ذاته مما يقل معه الخطأ عن تلك الحالة بدون الثغرة.

8- المحول الخطي Linear CT

إنه محول يعتمد علي الثغرة لتقليل حث **inductance** التأثير المغناطيسي وبالتالي ينقص الثابت الزمني للدائرة الثانوية **time constant** فيقل حجم المحول كما يعطي نسبة تحويل صحيحة ويعمل في منطقة خطية واسعة وهو من النوع الجوهري الذي يقع في الوسط بين النوع العادي والنوع ذو الثغرة

9- المحول المستقل (المنفصل) Separately Mounted CT

يمثل هذا النوع وحدات حرة مستقلة منفصلة **separate** حيث يتم ثني السلك الابتدائي علي شكل حرف **U** داخل عازل بورسلين **porcelain** مملوء بالزيت **transformer oil** بينما توضع ملفات الثانوي عند الجزء السفلي من حرف **U** وعادة تكون الملفات عديدة وكل منهم لها عمل مستقل وفي دائرة بعيدة عن الآخرين (حيث يتم توصيل كل ملف ثانوي في دائرة مستقلة عن غيرها)، وأحيانا يستخدم قضبان مستقيمة **straight bar** كملف ابتدائي وتكون غير معزولة ولكنها توضع داخل عازل مجوف سواء من البورسلين أو غيره ويكون العزل في مستوي عزل الشبكة الكهربائية ذاتها وتركب الأطراف تحتها ويملأ الفراغ بعازل إما زيت المحولات أو غاز سادس فلوريد الكبريت SF_6 .

المحور الرابع: مقننات محولات التيار CT RATING

تمثل الدائرة الثانوية secondary circuit محورا رئيسيا للتعامل مع محولات التيار CT سواء من أجل القياس أو الوقاية من تيارات القصر short circuit currents التي عادة ما تتعرض لها الشبكات الكهربائية وحيث أنها تمثل الجزء الأكبر من الدائرة المكافئة للمحول عموما فإنها تحتاج إلي إلقاء الضوء علي الخواص الأساسية وتبعا للمواصفات الدولية المحددة لنظام التعامل مع مثل هذه الأجهزة، وهي ما نضعها في نقاط كما يلي:

1- التيار الثانوي المقنن Secondary Current Rating

يعتمد التيار الثانوي علي النسبة transformation ratio بين عدد لفات كلا من الملفات الابتدائية والثانوية وهو بذلك يتأثر بعدد اللفات الحقيقية actual turns وهذا العدد بالتالي يتناسب عكسيا مع التيار المار به، علاوة علي أنه من المعروف أن معوقة الملفات impedance تتناسب مع مربع التيار عكسيا وحتى يقل التيار يجب زيادة المعوقة أو ما يعني عدد اللفات number of turns ،

أما أطراف التوصيل leads لهذه المحولات فتتوحد the same لكل المحولات بصرف النظر عن المقنن لها لأن هذه الأطراف تمثل الفقد الكبير في الدائرة الثانوية مما يستوجب تقصير مسافة الأسلاك المستخدمة في الدوائر الثانوية بقدر الإمكان خصوصا وأنه في محطات الجهد العالي حيث تتسع المسافات وتطول الأسلاك فمثلا لمسافة 200 متر نحصل علي مقاومة تصل إلي 3 Ω مما يستدعي زيادة البردن إلي ما يقرب من 75 ف. أ. لتغطية الفقد في الأطراف، إذا كان المقنن الأصلي هو10 فتكون الحصيلة 85 ف. أ. ويتبع ذلك زيادة الحجم ثم ارتفاع الثمن الباهظ وهذا كله من السلبيات في مثل هذه الأحوال، أما إذا خفضنا المقنن إلي 1 أ. تيار ثانوي فيقلل قدرة البردن الخاص بالأطراف إلي 3 ف. أ. بدلا من 75 ويصبح مقنن محول التيار (10+3) أي13 ف. أ. بدلا من 85 .

كما نلاحظ تيارا كبيرا في الابتدائي يصل إلي عددا من الكيلو أمبير فينتقل كبيرا في الدائرة الثانوية ويزيد من المقنن لها مما يستلزم إدخال محول تيار مساعد auxiliary CT آخر يضاف علي دائرة الثانوي للمحول الأصلي ليقل معه مقنن التيار current rating وبالتالي يقل الفقد الكلي total loss في الدائرة وهذه المقننات تتبع المواصفات القياسية فمنها1-2-5 أ. وإضافة إلي ذلك فتتوحد مقننات الخروج بوحدات الفولت أمبير في القيم 2.5–5–7.5–10– 15–30 وهي كلها ممكنة وتؤخذ بناء علي الجهد الشغال لأنها تزيد مع ارتفاع الجهد العالي.

تأتي عملية التيار الدائر circulating current في الدائرة الثانوية أساسا للتعامل مع هذه الدوائر ففي البعض عادة لا وجود للتيار الدائر no circulating current وفي أحوال أخري يكون العكس ولهذا يلزم تحديد هذا التيار خصوصا عند الاعتماد علي التوصيل التفاضلي Merz Price والمقارن وهو ما يزيد من الأهمية إذا ما كان هناك فارقا في الزاوية angle displacement فتدخل في الحسبان .

2- معوقة الملفات الثانوية Secondary Winding Impedance

هذه المعوقة تتبع بعض القواعد الأساسية وهي:

أ) القلب من النوع غير الموصول joint-less حلقيا بما فيها من القلب اللولبي spirally wound core

ب) يتم لف ملفات الثانوي بمتانة بالغة وبشكل منتظم حول القلب (الدائرة المغناطيسية) ما عدا الجزء الخالي ويمثل حوالي 2 سم وبما لا يزيد عن 30^o بحيث لا يقل عن المسافة المسموح بها spacing بين طرفي اللفة.

ج) يلزم مرور لفات الابتدائي في المنتصف تماما

د) يجب مرور لفات ملف الابتدائي علي طول المسار المغناطيسي وبالتساوي

هـ) يجب أن تتوازى ملفات التعادل equalizing الأربعة ويلزم أن توزع علي كامل الدائرة المغناطيسية بمعدل ملف تعادل لكل ربع وذلك من أجل التوزيع المتساوي بين الملفات لتعادل تأثير المجال الناتج عن تأثير أسلاك الخروج من المحول.

إذا لم يتحقق كل ما سبق من شروط يلزم التأكد من قيمة الخطأ المختلط بحيث لا يتعدى 1.3 من نسبة تغير الخواص المغناطيسية exciting characteristic (جهد / تيار).

3- جهد الدائرة الثانوية مفتوحة Open Circuit Secondary Voltage

عند فتح الدائرة الثانوية يتوقف مرور التيار وظهور القوة المغناطيسية MMF ويصل التيار إلي منطقة التشبع في كل نصف دورة ذبذبة half a cycle مما يزيد من معدل التغير الفيض rate of change of flux بشكل كبير، وعندما يمر التيار الابتدائي بالصفر passing through zero يتولد جهدا كبيرا جدا في ملفات الثانوي قد يصل إلي مئات الفولت في محولات صغيرة ويصل إلي عدد من الكيلو فولت في المحولات ذات نسبة التحويل الكبيرة أثناء حدوث القصر short circuit حيث يزيد التيار مع الجهد خطيا بالتقريب. هذه الجهود خطيرة ليس علي عزل الملفات winding insulation فقط بل علي الأجهزة devices المتصلة بالدائرة إضافة إلي الخطر الأعظم لما يهدد حياة العاملين في الموقع ولهذا يلزم بصفة مشددة عمل قصر علي الملفات الثانوية باستخدام سلك مربوط جيدا في الدائرة (ويفضل طرق الربط الجيدة فنيا) وله مقنن يسمح بمرور تيارات القصر حتي لا يصير مصهرا فيؤدي إلي دمار الملفات.

4- مقنن التيار الابتدائي Primary Current Rating

من المعروف أن محولات التيار تصنع طبقا للمواصفات القياسية الموحدة تسهيلا في التعامل والإحلال أوالتبديل والتطوير ولذلك يصبح هاما كي يتوحد مقنن التصنيع manufacturing لهذه المحولات لقيم التيارات الثانوية وبناء علي التيار الإبتدائي كما سبق الإشارة إليه في جميع الدول.

هذه المقننات تتحدد بالقيمة الأمبير مثل 0.5 – 2.5 – 5 – 10 – 12.5 – 15 – 20 – 25 – 30 – 40 – 50 – 60 – 75 – 100 – 125 – 150 – 200 – 300 – 400 – 500 – 600 – 750 – 800. كما أنه يوجد يضا بالكيلو أمبير مثل 1 – 1.25 - 3 – 4 – 5 – 6 – 7.5 – 10 وبناء علي هذه القيمة تتحدد قيمة المقنن للتيار الثانوي والذي يقع في ثلاث قيم كما سبق تحديدها من قبل. أما عن بقية النقاط الهامة لتقنين محولات التيار فنبينها في السطور التالية:

<u>أولا: التيار اللحظي (الوقت القصير) Short Time Current</u>

عندما تتزايد قيمة التيار بشكل هائل فأنه يمثل تحميلا زائدا overload علي الدائرة وبالتالي لا يجوز تحميلها لفترة أكثر من تلك المقننة له وهو ما يتحول إلي نوعين من التأثيرات وهي الحرارية thermal والتي لا تسمح إلا بفترات قياسية محددة مثل 0.25 أو 0.5 أو 1 أو 3 ثانية أو بالتأثير الديناميكي dynamic في الفترة المقابلة للدورة الأولي first cycle حيث تتناسب القوة الميكانيكية الناشئة F في المتمم بتناسب عكسيا مع مربع التيار فكلما زاد التيار ببطء كلما قلت الفترة الزمنية بشدة. كما يجب توضيح أن هذه القيمة تعادل تلك القيمة RMS للمركبة المتغيرة AC component من قيمة المقنن للمحول ذاته خصوصا وأن القيمة القصوى قد تصل إلي أكثر من 2.5 ضعف القيمة القصوى المقننة rating في الدورة الأولي.

<u>ثانيا: المؤثرات</u> Effects

تتأثر جميع المقننات لمحولات التيار عند التصميم بالمعاملات المختلفة ومن أهمها:

أ) شكل الموجات الكهربائية Electric Waves Form

عندما تكون الموجة جيبية تكون القراءات صحيحة ولكننا في الحقيقة وعند حدوث القصر تكون الموجات لا جيبية لظهور التوافقيات المختلفة ومن ثم تحدث القراءات والقياسات غير الصحيحة ولذلك يلزم أن يتم تصميم المحول لمواجهة هذه الحالات وهو من أول الأهداف في التعامل مع هذه المحولات.

ب) أقصى ارتفاع للجهد Voltage Level

مستوي العزل يمثل الخطورة القصوي مادام التعامل يبدأ من ملفات وهي التي يجب أن تواجه هذه الجهود غير الفجائية ذات القيم المتوسطة تبعا لمستوي الجهد للتشغيل العادي.

ج) نظم التأريض للشبكة Earthing System

من المهم جدا حساب التيار الغامز لأي من الحالات حيث يعمل محول التيار به فيكون تأثير الترتيبات (المركبات) الصفرية مؤثرا في القيمة وهو ما نحتاج له من خلال التأريض وهي عملية تخص التيار الصفري أو قطع الدائرة الصفرية ككل.

د) حدود الجهود الفجائية Transient Voltages

هذه الجهود هي تلك الجهود الفجائية الناتجة عن الحالات الإنتقالية في الشبكة وهي الظواهر الكهربائية الجوهرية والتي يتعرض لها المحولات عند التعامل مع الشبكة الكهربائية أثناء عمليات الفصل التلقائي لمواجهة حالات القصر المختلفة.

ثالثا: القلب المغناطيسي Magnetic Core

من الأهمية أن نشير إلي أن حقيقة الأمر في التطبيق الفعلي لمحولات التيار هو ما يمكن تصنيفها تبعا لعدد القلب المغناطيسي الموجود بها وهي ما يتم وضعها بصورة مختصرة علي النحو الآتي:

1- محول مفرد القلب المغناطيسي
2- محول مزدوج القلب المغناطيسي
3- محول متعدد القلب المغناطيسي

يشير الجدول رقم 2 – 8 إلي بعض المقننات النمطية تبعا للمواصفات القياسية الدولية لعدد من محولات التيار مزدوج القلب المغناطيسي (المتداولة فعلا للجهد 12, 24 ك. ف. 50 هيرتز) حيث تزيد قيمة التيار المقابلة لنفس الوضع عند تغير الذبذبة عن 50 هيرتز، كما أنها تزيد بمعدل تقريبي قدره 20 % عند التعامل عند الذبذبة 60 هيرتز

3-2: اختبار محولات القياس Testing

من الحدود المقننة في الإختبارات أنه يجب تحديد معامل القدرة عند التجربة فيكون 0.8 متأخر لقدرات البردن بدءا من 5 ف. أ. وأعلي ويكون معامل الوحدة للقدرات الأقل من ذلك وتنقسم الاختبارات إلي البرامج الثلاثة التالية:

النوع الأول: الاختبارات القياسية الأساسية Typical Tests

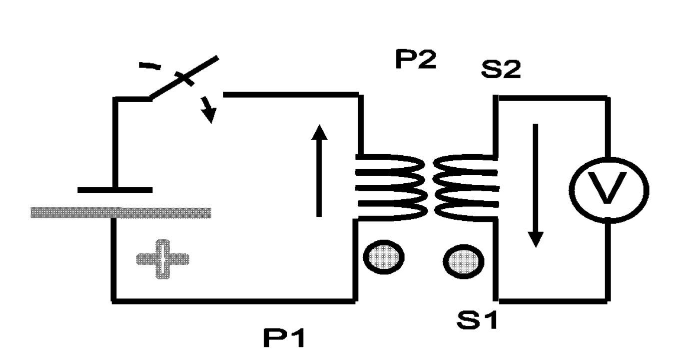
هذه الاختبارات جوهرية ويجب أن تجري لكل محول تيار قبل أن يلحق بالعمل في دوائر كهربائية وهي عديدة:

الجدول رقم 2 - 8: مقننات بعض محولات التيار مزدوج القلب المغناطيسي (12 , 24 ك. ف. 50 هيرتز)

تيار المحول (ك. أ)			القلب الأول			القلب الثاني	
إبتدائي	وقت قصير	عابر	تيار مغناطيسي ملي أ	جهد، ف.	مقاومة ملف، ملي أوم	F_s	مقاومة ملف، ملي أوم
50 - 100	11-22	30-60	145	25	70	5	160
50 - 100	20-40	50-100	290	12	30	15	40
75 - 1150	11-22	30-60	100	34	190	5	180
75 - 1150	20-40	50-100	195	17	50	10	140
100 - 200	11-22	30-60	145	25	70	5	160
100 - 200	20-40	50-100	145	25	70	5	160
150 - 300	16-32	40-80	100	34	280	5	180
150 - 300	27-54	68-136	100	34	190	5	180
200 - 400	20-40	50-100	145	25	70	5	160
200 - 400	27-54	68-136	145	25	70	5	160
300 – 600	27-54	68-136	100	34	280	5	180
400 - 800	27-54	68-136	75	34	310	5	240

1- اختبار القطبية Polarity Check

تعطي دائرة الاختبار المستخدمة (الشكل رقم 2-15) انطباعا عن بساطة هذا الاختبار حيث يستخدم جهاز الفولميتر وهو ما يمكن أن يتم بصفة روتينية بالموقع عند كل تغيير يحدث علي التوصيلات الخاصة بهذا المحول للتأكد من سلامة الترقيم الموجود علي الأطراف حيث يمر التيار بالملف الثانوي فترة انتقالية صغيرة ولكنه سوف يعطي قراءة موجبة لتحديد الاتجاه للملفات الثانوية، خصوصا وأن الفولتميتر المستخدم يكون معتمدا علي نظرية الملف المتحرك moving coil type.



الشكل رقم 2-15: دائرة اختبار القطبية

2- اختبار تيار الزمن القصير
Short Time Current Check

3- اختبار الإرتفاع الحراري
Temperature Rise Test

4- اختبارات العزل
Insulation Tests

يتم اختباره العزل تبعا لمنطقة تواجده ويوحد لهذا إختباران هامان هما:

(أ) اختبار الومضة الكهربائية
Impulse Test

من المعتاد أن يجري اختبار الومضة الكهربائية الضروري لإختبار عزل الملفات الابتدائية للمحولات العاملة علي الجهد العالي عموما وهو من أنواع اختبارات الجهد الزائد كما في المعدات العاملة بالشبكة الكهربائية ذات الجهد العالي أو الفائق ويعرف باسم Over voltage Test

(ب) اختبار العزل الكهربائي للملفات الثانوية
Inter Turn Voltage

يتم ذلك لاختبار عزل الملفات الثانوية بالجهد المقنن الابتدائي مع فتح دائرة الثانوي لمدة دقيقة واحدة.

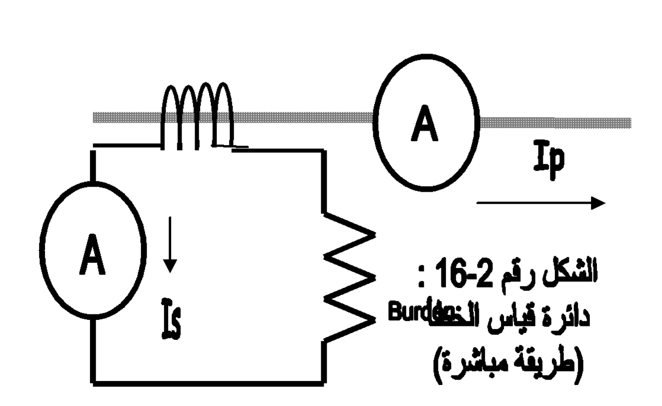
(ج) اختبار العزل الكهربائي للملفات الابتدائية
Primary Voltage Withstand Test

5- اختبار قيمة الخطأ Error Measurement

وهو ما يتم بطريقتين هما:

(أ) الطريقة المباشرة
Direct Method

في هذه الطريقة (الشكل رقم 2-16) نجد أن الأميتر في دائرة الملفات الثانوية والمغلقة علي بردن مناسب بينما يوضع أميتر في دائرة الابتدائي لتحديد قيمة الخطأ عند قيم التيارات المختلفة أو مع تغير قيمة البردن بحيث تتحدد كلما ظهر أي تغير في القراءات أو حالات القصر، كما أنه يعتبر من الاختبارات الأساسية ويجب التأكد منها في المصنع ويصلح هذا الاختبار لجميع أنواع محولات التيار CT.



الشكل رقم 2-16 : دائرة قياس الخطأ (طريقة مباشرة)

(ب) طريقة المقارنة Comparison Method

هذه الطريقة مناسبة للمحولات غير القياسية حيث تسمح بالمعايرة قياسا علي المحولات المقننة ولكنها اختبارات مساعدة لتلك المحولات الأخرى.

النوع الثاني: اختبارات دورية Routine Tests

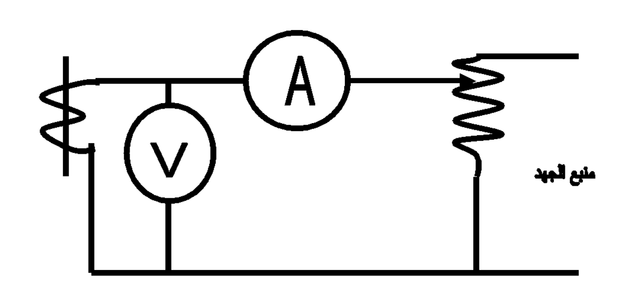
هذه الاختبارات تتباين بشكل كبير ولذلك نجد منها التكراري مع تلك النوعية السابقة ونعطي أهمها:

1- اختبار القطبية Polarity

2- اختبارات العزل Insulation Test

3- اختبار العزل الابتدائي HV Withstand

4- اختبار الخطأ Error Determination



الشكل رقم 2-17 : دائرة اختبار الخواص المغناطيسية

النوع الثالث: اختبارات خاصة Special Tests

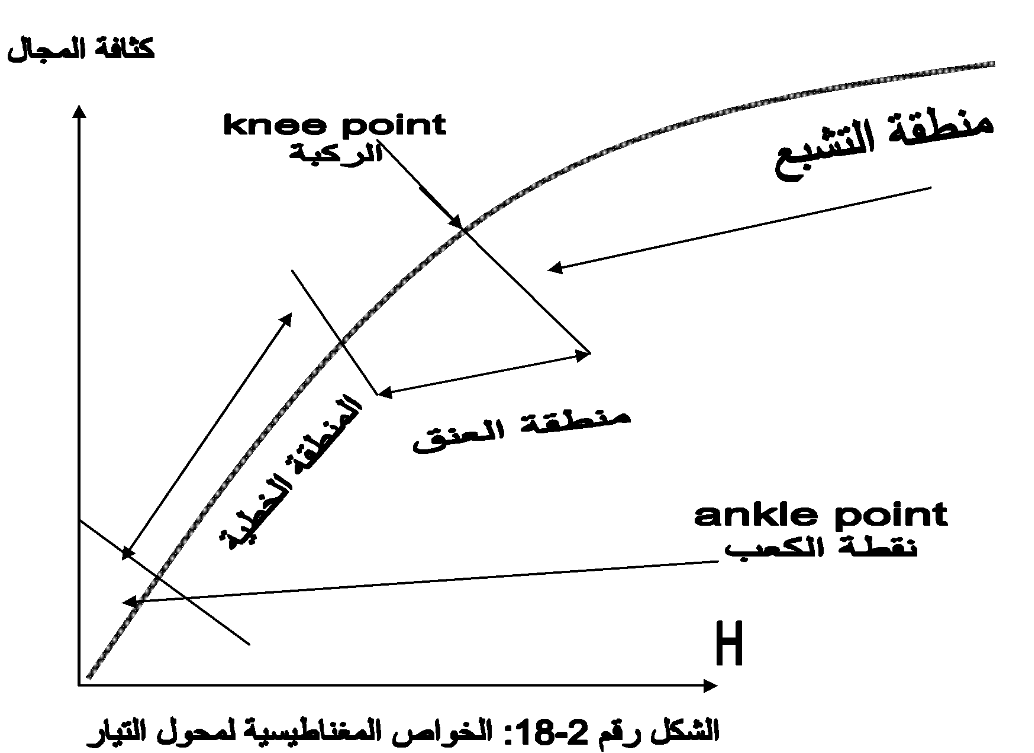
يوجد اختبارات أخري إضافية More Tests هامة وضرورية مثل:

1- اختبار الاتزان Stability Test
2- اختبار عدد اللفات Turns Ratio Test

يستخدم هذان الإختباران نفس الدائرة الأساسية الواردة بالشكل رقم 2 - 16 حيث يتم رصد التيارين الابتدائي والثانوي وتتحدد منهما قيمة النسبة الفعلية للملفات مع الصفات المغناطيسية.

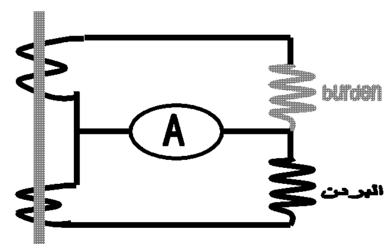
3- اختبارات الصفات المغناطيسية المقننة

نحن هنا بصدد الحاجة إلي تحديد الخاصية المميزة للعلاقات الخطية وغير الخطية للقلب المغناطيسي وهو ما يتم قراءته من خلال الدائرة الواردة بالشكل رقم 2- 17 حيث يتم تغذية الملف الثانوي بمنبع تيار متردد علي مقاومة متغيرة وترصد القراءات لكل من الجهد علي الملفات الثانوية وهي المنتجة للعلاقة بين الجهد والتيار والتي نراها في الشكل رقم 2-18 فتتولد التيارات التي تقاس وهي المقابلة للتيارات المغناطيسية. علي الجانب الآخر تستخدم هذه الدائرة أيضا لقياس قيمة تيار الفرق والمسمى spill current حيث تحتاج إلي توضيح قيمتها في حالة اختلاف خواص محولات التيار العاملة في دائرة واحدة مشتركة. كما أننا نستطيع اختبار هذه الصفات من خلال الدائرة التفاضلية بالمقارنة مع صفات قياسية محددة مسبقا ومقننة كما في الشكل رقم 2-19.



الشكل رقم 2-18: الخواص المغناطيسية لمحول التيار

الشكل رقم 2-19 :
دائرة اختبار
الصفات المغناطيسية



2-4:_النواحي التطبيقية Practical

هناك أسسا جوهرية عند إستخدام محولات التيار علي وجه الخصوص ولذلك إذا صمم المحول لغرضي القياس والوقاية معا فيكون الاختيار تبعا للجداول السابق ذكرها لتحديد الدقة والحفاظ عليها في المحول المستعمل لفيضين مغناطيسين وفي هذه الحالة يكون إجمالي مجموع البردن علي الدائرة الثانوية هو مجموع البردن للمتمم وأجهزة القياس المشتركة معها، أما ملفات التوازن فنحتاجها لهدف القياس فقط وليس الوقاية ولهذا يلزم تحديد مقنن البردن ليس بقدرتها فقط بل مضافا إليها الملفات اللازمة لتحديد مستوي الدقة فمثلا يكون البردن بقدرة 10 ف. أ. مستوى الدقة 0.5 بينما إذا كان الغرض هو دائرة الوقاية فيلزم إضافة معامل حدود الدقة فمثلا يتحدد بـ (10 VA class10 P 10) وذلك لزيادة التأكيد علي أهمية الغرض

اللازم عند الاستخدام. إنطلاقا من هنا سوف نضع بعض التطبيقات التفصيلية من حيث المبدأ لمحولات التيار علي النحو التالي:

(أ) قياس التيار الزائد Over Current Measurment

عند اختيار محول تيار ما يلزم بعض الأساسيات والتي تتمثل في:

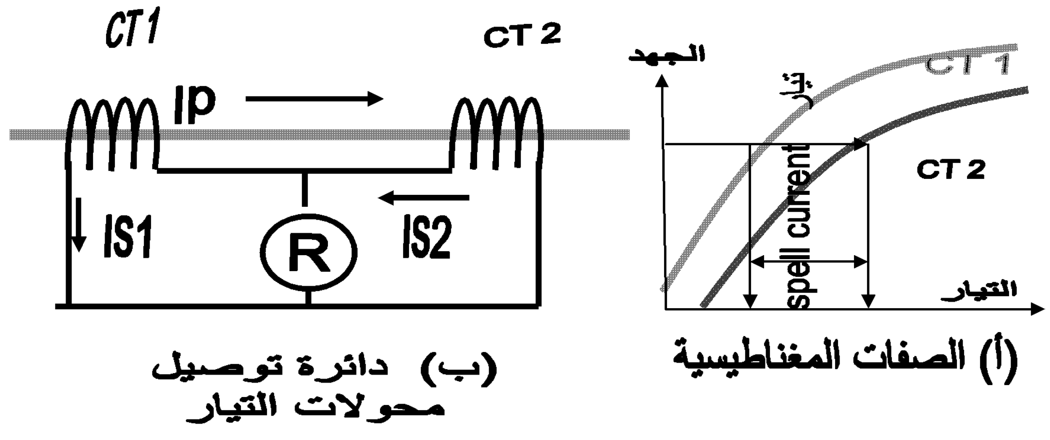
1- التأكد من عدم دخول المنطقة العاملة أو النقطة العاملة operating point في نطاق منطقة التشبع أو اللا خطية عموما إذا ما زاد التيار عن 20 مرة مثل التيار المقنن أو التيار المضبوط عليه المتمم (Current Setting) ولهذا نختار نسبة تحويل عالية مع مقننات البردن الصغيرة Low Burden بقدر الامكان

2- مع النظم المتدرجة في التوقيت graded time lag system مع زيادة التيار يتم اختيار النسبة العالية في التحويل في بعض الأماكن بينما نختار الأخرى في أماكن معينة بذات النظم .

3- يتسبب التشبع عموما في تواجد موجة توافقية ثالثة 3rd harmonic في الملفات الثانوية فيزيد زمن تشغيل المتمم عن المحدد ولهذا يفضل محولات تيار بنسبة صغيرة لتأخذ زمن أداء أكبر.

(ب) قياس المقارنة بالتفاضل بين تيارين Differential Relay

من أهم التطبيقات الشائعة في مجال الوقاية الإعتماد علي نظرية المقارنة بين التيارات بذات القيمة والإتجاه ولذلك يكون الإهتمام باجزاء محددة في المعدات مثل الملفات مما يقودنا إلي ضرورة الإلتزام الواجب بالتشابه الحاد (التوأمة) لمحولات التيار علي طرفي التفاضل وهنا يمكننا التغلب علي مشكلة التشبع في محولات التيار المشتركة في وقاية تفاضلية (الشكل رقم 2-20) وعلي الصفات الخاصة بها بالاعتماد علي التفاضل المدفوع Biased Differential أو بالمعوقة الكبيرة في المتممات high impedance differential relays كما أن هذه المحولات تتبع بعض القواعد الهندسية مثل:



الشكل رقم 2- 20 : دائرة الوقاية التفاضلية للتيار

1- حالة نوعية محولي التيار مختلفين (الشكل رقم 2 - 20)

2- حالة نفس المحولين ولكن التيارات مختلفة

3- حالة نفس المحولين وذات التيارين قيمة مع اختلاف الزاوية بينهما

4- حالة نفس النوعية والتيارات متماثلة قيمة وزاوية مع إختلاف القطبية في التوصيل داخل الدوائر الثانوية وهنا نتقابل مع نوعين من التوصيل فالأول إذا كانت القطبية بذات الاتجاه بينما الثاني إذا كانت معكوسة لأحدهم دون الآخر (الشكل 2-21) حيث يبين أن القطبية المتماثلة وتصبح المعادلة الكهربائية للعقدة ومجموع تياراتها (قانون كيرشوف):

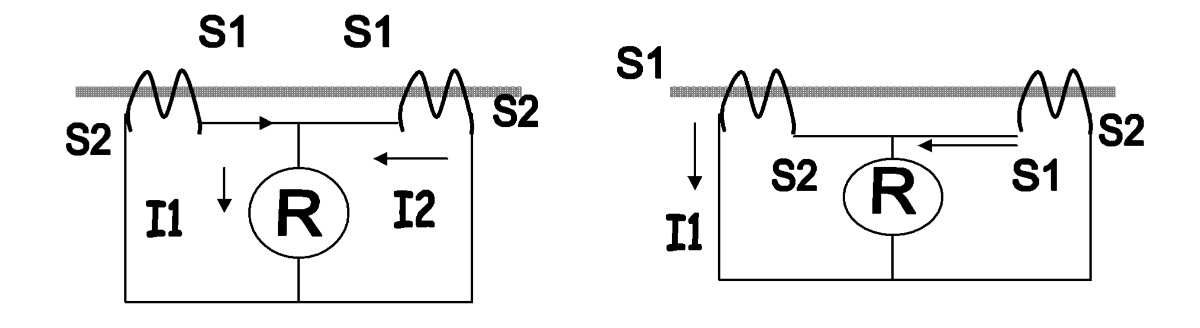
$$SUM\ (I_{node}) = 0 \qquad (2\text{-}17)$$

من هذه المعادلة نستنتج بالنسبة للدائرة في الشكل 2 - 12 (أ)، حيث أن التيارين متساويان للتماثل ويدخلان ألي العقدة قبل المتمم ويجمعان فيصبح التيار المتجه والمار في المتمم I هو

$$I = (I_1 - I_2) = 0 \qquad (2\text{-}18)$$

أما بالنسبة للدائرة (ب) في الشكل رقم 2 – 12 عندما تنعكس القطبية فيدخل التياران نفسهما إلي نفس العقدة في اتجاه واحد نحوها وبالتالي يجمع التياران ويكون التيار المار في المتمم بصفة مستمرة هو:

$$I = I_1 + I_2 \qquad (2\text{-}19)$$

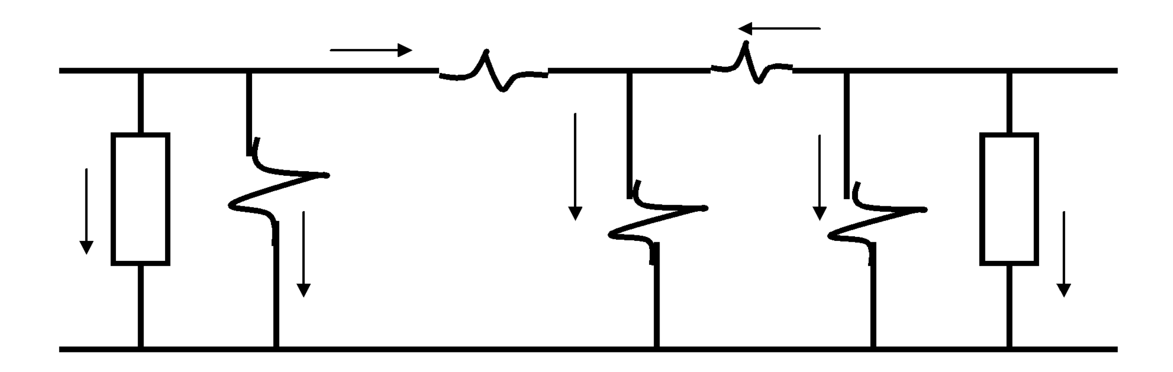


(أ) حالة القطبية المتماثلة لمحولات متماثلة (ب) حالة قطبية منعكسة لمحولات متماثلة

الشكل رقم 2-21 : تأثير القطبية في توصيلات الدوائر الثانوية

ذلك يعني أن التيار يمر بصفة مستمرة في ملفات المتمم مستهلكا الطاقة ومسببا من المشاكل التي نحن في غنى عنها ولذلك يجب الاهتمام بالقطبية واختبارها بصفة روتينية وخصوصا بعد التعامل في إختبارات أو صيانة دوائر الوقاية.

في كل هذه الحالات السابقة تعمل الدائرة الكهربائية بالعلاقات الرياضية العامة والتي تتبع الدائرة المكافئة والمبينة عموما في الشكل رقم 2-22 حيث تختلف التيارات بشكل عام فلكل منهما تيارا فعليا actual مخالفا للقيمة النظرية ومن ثم نحصل علي المعادلات الياضية الأساسية الآتية:



الشكل رقم 2-22: الدائرة المكافئة لدائرة الوقاية

$$E_1 = I_{s1} R_1 + R_r (I_{s1} - I_{s2}) \quad (2\text{-}20)$$

$$E_2 = I_{s2} R_2 + R_r (I_{s2} - I_{s1}) \quad (2\text{-}21)$$

غالبا ما نتوجه إلي محاولات الفروض الأولية التي تساعد علي سهولة الوصول إلي الحلول الرياضية فمثلا إذا أهملنا المقاومة الخاصة بالمتمم فنحصل علي هاتين المعادلتين في الصورة البسيطة:

$$E_1 = I_{s1} R_1 \quad (2\text{-}22)$$

$$E_2 = I_{s2} R_2 \quad (2\text{-}23)$$

من ثم نحصل علي:

$$K_n I_p / K_t = I_{s1} + I_{e1} = I_{s2} + I_{e2} \quad (2\text{-}24)$$

وهكذا نصل إلي قيمة التيار اللازم لعمل المتمم وهو التيار العامل I_{ro}

$$I_{ro} = (I_{s1} - I_{s2}) = K_n I_p / K_t - I_{e1} - (K_n I_p / K_t - I_{e2}) = I_{e2} - I_{e1} \quad (2\text{-}25)$$

هذا الفارق هو ما يعرف باسم *spill current* (الشكل رقم 2 – 20 أ) وتتحدد نقطة الاتزان *Stability point* (وهي الهامة مع التيارات الكبير وحالات الفجائيات *transients* في الشبكة الكهربائية) كما نشير إلي أن هذه الحالات الفجائية لا تهم المتمم الزمني من النوع الحثي *induction type* لأن تشغيل المتمم في هذه الحالة يعتبر بطيئا ولذلك يجب اختيار محولات التيار العاملة في دوائر المقارنة التفاضلية بحيث تكون النسبة بين التيار الأقصى في الشبكة الكهربائية منسوبا إلي

القيمة المقننة له في دوائر الوقاية صغيرا. من هذه القيمة مقارنة مع تيار التشغيل للفصل (pick up current (I_r وبناء علي ذلك نصل إلي الحالتين:

ففي الحالة الأولي نجد أننا نخضع للمعادلة

$$I_r > I_{e2} - I_{e1} \tag{2-26}$$

تلك المعادلة الشرطية هي ما تعني أن التيار المار بملف المتمم سيحصل فعليا علي الطاقة اللازمة لأمر الفصل، أما علي الجانب الآخر إذا أصبحت القيمة علي النقيض وتخضع للشرط المعكوس وهو

$$I_r < I_{e2} - I_{e1} \tag{2-27}$$

هذه المعادلة تشير إلي توقف المتمم عن العمل لعدم الوصول إلي القيمة المطلوبة للتشغيل بعكس الحالة الشرطية السابقة

(ج) أغراض أخرى Others

تتنوع وتتباين الأغراض للتعامل مع محولات التيار علي نطاق واسع ولهذا نستعرض حالتين منها:

الحالة الأولي: وقاية المسافة Distance Protection

نتعامل مع زيادة زمن عمل المتمم كثيرا عن حالة زيادة التيار المعتادة ونصل إلي نطاق التشبع فتكون الحاجة مع زيادة نسبة الحث إلي المقاومة (X/R) في الشبكة الكهربائية كي تزيد من أجل الابتعاد عن بداية منطقة التشبع إضافة إلي تحسين معامل التشبع للفجائيات transient saturation factor وهذا يعتبر مؤشرا هاما عند اختيار محولات التيار لهذا الغرض من أجل الوصول إلي دقة عالية أثناء القياسات في أوضاع القصر.

الحالة الثانية: وقاية الاتجاه Directional Protection

في هذه الحالة يجب الابتعاد عن منطقة التشبع أيضا كما في حالة وقاية المسافة حتى لا تقل الدقة ويزيد خطأ الزاوية تحديدا من أجل الحفاظ علي مستوي الأداء العالي ثم ننتقل إلي بعضا من المحاور الرئيسية (بعد التعرض السريع للحالات التطبيقية في النقاط الثلاثة السابقة) التي تغطي موضوع القياس من حيث المبدأ:

المحور الأول: محولات التيار المساعدة Auxiliary CT

نحتاج لإدخال المحولات المساعدة ضمن الدوائر بهدف تحسين خواص الأداء للأسباب التالية:

(أ) اختلاف المقنن الخاص بالبردن عن ذلك المقنن للمحول الأصلي في الدائرة الثانوية.

(ب) الحاجة لتعويض اختلاف الزوايا بين الكميات المقارنة متجهات التيارات.

(ج) الضرورة لعزل دائرة عن أخري كي لا تتداخل الكميات المطلوبة معا مما يرتفع معه مستوي الدقة وحسن الأداء.

المحور الثاني: الخواص الانتقالية لمحولات التيار
Transient Performance

جدير بالذكر أن المحولات تعمل عادة مع ظهور حالات انتقالية transient فتكون الفترة اللازمة لبدء التشغيل متناهية الصغر خصوصا مع تغير التيار الابتدائي بشكل هائل ولهذا يظهر من التأثير الهام علي خواص الدائرة الثانوية Response لمحولات التيارCT خصوصا مع الإعتماد علي أشكال الوقاية بالاتزان balanced forms .
من الضروري معرفة أن التيار الابتدائي يمثل القيمة الأساسية والمطلوب تحديدها بدقة بالغة للتعرف عن حالة الشبكة الكهربائية وعما إذا ما كان هناك قصر أو تشغيل غير عادي يستلزم الفصل التلقائي وحيث أن الشبكة في العادة تكون حثية المعوقة وتتصرف بهذا المبدأ وعليه يمكن التعبير عن التيار الابتدائي (I_p) كدالة في التيار الأقصي (I_{max}) وزاوية التيار (γ) في صيغة عامة تبعا للثابت الزمني (To) وهي:

$$I_p = I_{max} [\sin (\omega t - \gamma) + \sin (\gamma) e^{-t/To}] \tag{2-28}$$

عندئذ نجد أن القيمة القصوى الثابتة للتيار I_{max} تعتمد علي مكونات الدائرة الكهربائية المكافئة ذات مصدرجهد إبتدائي E_p والتي يمكن أن تتمثل في

$$I_{max} = E_p / \sqrt{[R^2 + \omega^2 L^2]} \tag{2-29}$$

كذلك يدخل في الإعتبار الزمن الثابت T_o للدائرة وهو المعروف باسم time constant ويتحدد بوحدات عدد الدورات الموجية (cycles) ويتبع القيمة ($T_o = L / R$)، كما نجد الزاوية γ المضافة تأخذ الشكل

$$\gamma = \textit{system p. f. angle} - \textit{initial angle at moment of fault} \tag{2-30}$$

بالعودة إلي المعادلة 2 – 28 نري أن معادلة التيار الابتدائي تتكون من جزأين الأول هو الشكل الموجي المعتاد (الحالة الإستقرارية) بينما الثاني يمثل الحالة الانتقالية (Transient Case) وبمعامل تخفيض (Damping) لأنه سالب ليعود هذا الحد إلي الصفر بعد فترة زمنية قد تكون طويلة أحيانا وتصبح عند قيمة الزاوية $\gamma = \pi/2$ وهذه هي حالة أقصي قيمة للتيار الانتقالي، فتصبح المعادلة السابقة 2 – 28 في الصورة:

$$i_p = I_{max} [\sin (\omega t - \pi/2) + e^{-t/To}] \tag{2-31}$$

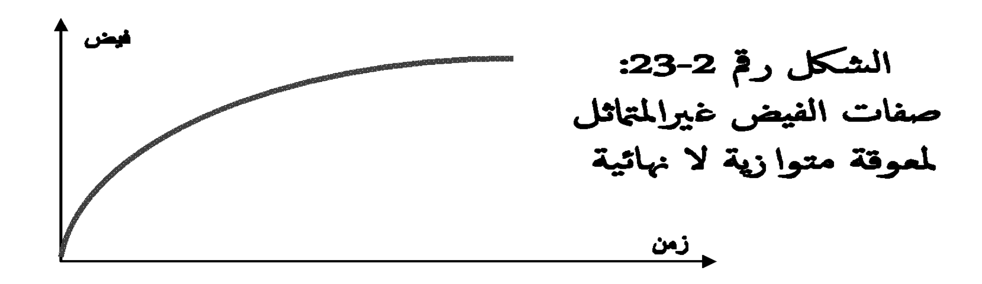
ولما كان من المعروف أن الفيض في ملف ما يعتمد علي الجهد المسلط عليه وبالتالي نتوصل إلي المعادلة:

$$\Phi = K \int v \, dt \tag{2-32}$$

حيثϕ_1 يمثل الفيض الناتج عن الجزء الأول بينما ϕ_2 تعطي الفيض الناتج عن الحد الثاني ومن ثم تتحول المعادلة السابقة إلي الصورة:

$$\Phi = K R_b I_s \left\{\int^{3\pi/2\omega} \sin (\omega t - \pi/2) \, dt + \int^{\pi/\omega} e^{-t/To} \, dt\right\} \tag{2-33}$$

وهو ما يصل في حالة المعوقة المتوازية اللانهائية كما نراها في الشكل رقم 2 – 23 بينما نجد أن التعبير التحليلي للفيض علي النحو:



الشكل رقم 2-23: صفات الفيض غيرالمتماثل لمعوقة متوازية لا نهائية

$$\Phi = K\ R_b\ I_s\ \Phi_1\ (1 + \omega\ T_o) = K \times R_b\ I_s\ \Phi_1\ (T.F) \qquad (2\text{-}34)$$

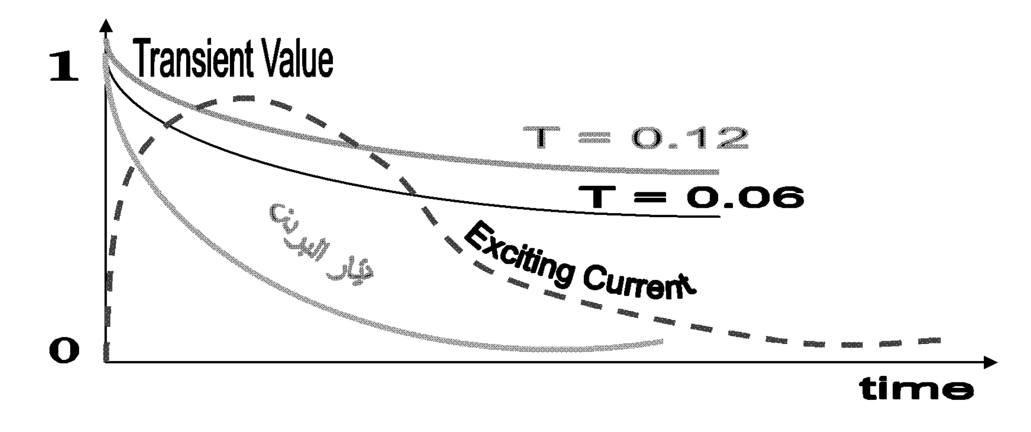
حيث أن

$$\Phi_2 / \Phi_1 = \omega L / R = \omega T_o,\ T.F\ (Transient\ Factor) = (1 + \omega T_o)$$

بينما يمكننا توضيح أن الزاوية عبارة عن الفرق بين زاويتين محددتين بالصيغة:

γ = زاوية التيار في الشبكة المكافئة – زاوية التيار في لحظة بدء الخطأ (القصر)

بالنظر إلي هذه التعبيرات الرياضية يتضح أنه قد ظهر معامل الانتقاليات الهام هذا ليجعل الفهم أبسط وأسرع مبينا ذلك في شكل منحنيات كما نشاهدها في الشكل رقم 2-24 وذلك لحالة توصيل معوقة لا نهائية في الدائرة الثانوية عندما تكون قيمة الثابت الزمني بمقدار 0.06 وكذلك 0.12 ثانية حيث أن التيار المقنن في الدائرة الثانوية يكمن في التعبير:



الشكل رقم 2-24: صفات محول التيار

$$i_{sa} \text{ التيارالمقنن بالدائرة الثانوية } = i_s \text{ التيارالمغناطيسي } + i_e \text{ التيارالثانوي الفعلي} \qquad (2\text{-}35)$$

بناء علي ذلك وحيث أن التيار الفعلي الذي يمر بالبردن بذات المقاومة R_b ومن ثم نجد أنه في حالة الإنتقاليات نحصل علي:

$$L_e\, di_e/dt = R_b\, i_s \qquad (2\text{-}36)$$

هذه العلاقة الأساسية للزمن الانتقالي تدخل في الحسبان فنحصل علي المعادلة التي تخص الدائرة الثانوية في:

$$di_e/dt + R_b\, i_e / L_e = R_b\, i_s / L_e \qquad (2\text{-}37)$$

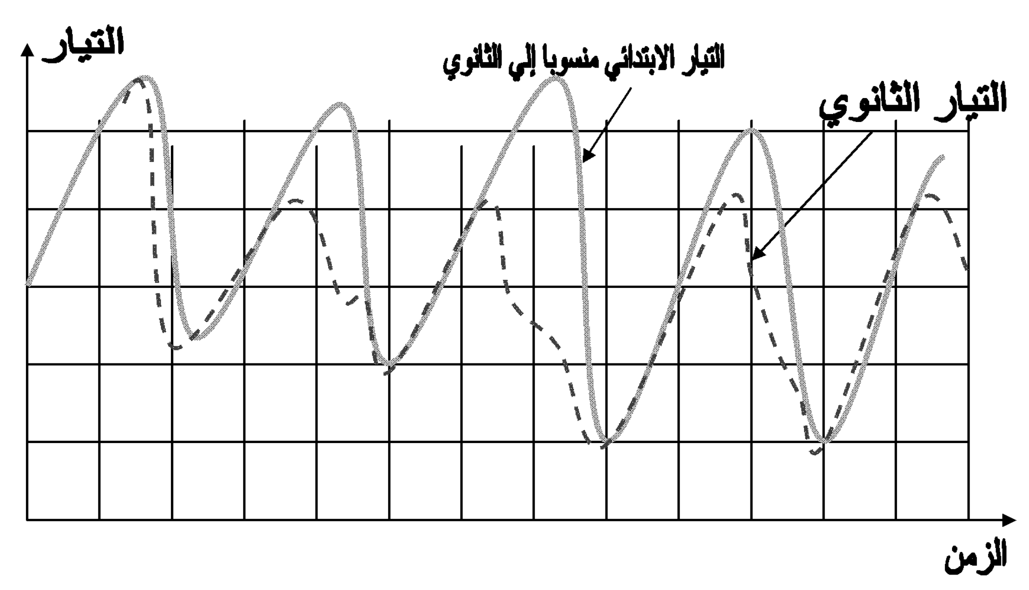
كما تعطي هذه المعادلة ممثلة في شكل الحل العام لها وذلك في الصورة:

$$i_e = I_1 \{T_o / (T_1 - T_o)\}\{e^{-t/T1} - e^{-t/To}\} \qquad (2\text{-}38)$$

بينما يعرض الشكل 2-24 حدود هذه المعادلة ويقدم الصفات الانتقالية للتيار غير التماثلي في محولات التيار حيث الثابت الزمني للدائرة الأولية (network) هو T_o بالقيمة 0.06 ث إضافة إلي الثابت الزمني للدائرة الثانوية T_1 وهو0.12 ث. تحدد القيمة للتيار I_1 والممثلة للمركبة الموجبة للتيار الأقصى في الدائرة الثانوية لمحول التيار. وجدير بالذكر أن الموجات التوافقية harmonics قد تظهر أثناء الفترات الانتقالية transient duration نتيجة التشبع saturation في خواص محولات التيار وما يتبعه من تشويه distortion (توهين) للموجات المنتظمة فيظهر التوافق الثاني 2^{nd} والثالث 3^{rd} بتأثير كبير بينما يمكن إهمال تأثير البقية من الموجات التوافقية مما ينعكس علي حساسية sensitivity الجهاز المتمم. أخيرا نجد خلافا بين تلك المعادلات والواقع الفعلي لحدوث القيمة الفجائية للتيارات وقت حدوث القصر الحظي والمفاجئ وذلك للأسباب الآتية:

1- عدم حساب قيمة الحث للمعوقة البردن burden inductance
2- عدم حساب قيمة الحث في الملف الثانوي لمحول التيار secondary inductance
3- عدم التعامل مع الفقد الحديدي iron loss في القلب المغناطيسي فيقل الثابت الزمني time constant في الدائرة الثانوية مع تغير قيمة المقاومة والتي تهمل في إجراءات الحساب العددي لتبسيط الحل.
4- الاعتماد علي الصفات الخطية linear بالرغم من الدخول إلي منطقة التشبع saturation والتي تتجزأ أحيانا إلي خطوط مستقيمة متتالية ومتتابعة multi line system للتقريب من الواقع بقدر الإمكان.
5- التيارات المغناطيسية hystresis effect لا تدخل في الحسبان وهو ما يؤدي إلي تغير قيمة الحث في الدائرة (حلقة الدائرة) loop فيتغير معه الثابت الزمني والمحدد ثابتا من قبل.
6- ظهور المركبة الثابتة للتيار direct current تساعد علي زيادة الفيض المتوسط mean flux لعدد من الدورات وما يتبعه من تأرجح swing حول القيمة المتوسطة.
7- ارتفاع قيمة التيار المغناطيسي نتيجة قلة قيمة الحث أثناء الفترة الانتقالية وما يرافقه من فقد كبير وتدخل أحيانا إلي حيز التشبع زمنيا فيزيد من البعد عن الدقة (زيادة الخطأ في القياس).

بالرجوع إلي الشرح السابق نري في الشكل رقم 2-25 التباين بين تياري الملف الابتدائي والثانوي لمحول تيار حيث الفيض المتبقي صفرا Zero residual flux والبردن مقاومة فقط resistive burden في شبكة لها ثابت زمني قدره 0.05 ثانية حيث يظهر تشويه distortion كبير في الشكل الموجي في الدائرة الثانوية وذلك نتيجة الدخول إلي منطقة التشبع saturation في العلاقة بين الجهد والتيار exciting characteristic بالنسبة لمحولات التيار.



الشكل رقم 2-25 : التيار الثانوي لمحول تيار

المتممات الديناميكية
ELECTROMECHANICAL RELAYS

تلعب المتممات الديناميكية الدور الأول الأساسي في ملعب الوقاية منذ القدم حيث قامت عليها الوقاية الآلية للشبكات الكهربائية منذ البداية حتي أصبحت تعتمد عليها الشبكات الكهربائية القومية والموحدة والخاصة علي حد سواء. من الناحية الثانية فقد أدت هذه النوعية من المتممات الديناميكية (هي الأقدم بين كل الأنواع) عملها بكفاءة ونوجز هنا الخصائص المميزة لها وأسس التعامل معها لأنها تقوم بعملها علي أكمل وجه بالرغم من تقادمها وظهور الأجيال الأحدث. كما أن أداء المتممات الديناميكية يعتبر الأساس لفهم فلسفة الأداء لأجهزة الوقاية ومن المبادئ الأولية لفهم موضوع الوقاية في الشبكات الكهربائية، ولهذا نضع هذا الفصل في بداية الدخول إلي موضوع الوقاية ككل وبشكل عام كي يتفهم الطلاب الدارسين لهذا المنهج سواء في كليات الهندسة أو المعاهد العليا أو المهندسين المتعاملين مع هذه الأجهزة كل المبادئ اللازمة بالضرورة لمثل هذا العمل حيث نتعرف الي المبادئ الأولية للتعامل مع مجال الوقاية بشكل سهل كما في البنود الآتية.

3-1: مبادئ التمييز Discrimination Principles

عند وضع نظاما تشغيليا آليا متكاملا يجب أن تشتمل علي عددا من الأساسيات الهندسية الجوهرية كي يكون نظاما صالحا للعمل بكفاءة مقبولة من وجهة النظر الفنية والتكنولوجية وأن يكون قابلا للتطور ومواكبا له وعلي رأس هذه الأساسيات:

1- إمكانية التشغيل الآلي واليدوي معا
يوضع النظامين ليكفلا إمكانية التشغيل في جميع الحالات والأوضاع الميدانية.
2- التحكم في التشغيل الآلي بطريقتين
يجب ألا يتوقف التحكم فقط علي طريقة واحدة بل يجب أن يكون هناك أكثر من إمكانية فمثلا يكون هناك حجرة للتحكم يتم منها هذا الأداء بجانب أن يكون هناك مكانا آخرا مثل أفنية التشغيل في محطات الكهرباء ليكون بديلا عن حجرة التحكم عند اللزوم (عطل ما في أزرار التشغيل بحجرة التحكم مثلا).
3- حماية المعدات (كاملة وجزئيا حسب الأحوال) آليا
في بعض الحالات تكون المعدة مكونة من عدة أجزاء منفصلة فتكون هناك الحاجة الماسة لحماية المعدة ككل بجانب حماية كل جزء من أجزائها منفردا، وهذه الأوضاع كثيرة ومتكررة في الشبكات الكهربائية سواء في المحطات أو في النقل والتوزيع ففيها نجد المولدات ذات أجزاء متعددة مثل المحولات أو حتي أدوات الفصل ذاتها.
4- حماية النظام كله آليا طوال وقت التشغيل
5- وضع النظم الشاملة لوقاية المنظومة من الخطأ
6- التمييز بين أجزاء المنظومة داخليا وخارجيا

إن التمييز يمثل أهم المعاملات الأولية التي يتوقف عليها أداء المعدات لأنه يجب التعامل مع المعدات بالمسيات مثل الأفراد فلكل منا أسم ثلاثي ورباعي وعن هذا الطريق وبهذا الأسم يمكننا التمييز بين فرد وآخر وبتحديد أكثر للهوية يكون هناك أسلوب البصمات للتأكد من أن هذا هو المسمي المعني فعلا بل وزادت كفاءة التمييز للشخص عن طريق الحمض النووي كبصمة جينية مؤكدة للشخص تمييزا دون غيره. علي هذا النهج تقوم جميع أعمال الوقاية ومن ثم يكون التمييز بالنسبة للأجهزة مسمياتها المتنوعة وللتعامل معها في كل حالة لا بد من تمييز هذه الحالة ولكل جهاز مستخدم لا بد أن يكون لها أسما مميزا وليس الأسم هنا في هذه الحالة يتحدد بالأسم وأنما عن طريق مسمي الأداء، ألا وهو تمييز أداء المعدة أو الجهاز. من هنا نستطيع التوجه إلي معني العملية المعنية بالأداء فمثلا هناك جهاز يقيس التيار فهو متخصص لقياس التيار ومن ثم يكون التمييز له هو القياس من جهة وقيمة التيار من جهة أخري، وهكذا نجد أن المرحلات تتعامل بذات المبدأ حيث أن هذا المتمم يتعامل مع التيار والآخر مع الجهد فأصبحت هذه العملية هي التمييز (أي المسمي).

نحتاج إلي التمييز النوعي في أدوات التشغيل ضمانا لأفضل أداء للشبكة الكهربائية من أجل رفع مستوي الوثوقية تحت كل الظروف سواء كان التشغيل العادي يدويا أو آليا أم التشغيل تحت الظروف الطارئة أو التشغيل الآلي بما في ذلك الفصل التلقائي أوالأخطاء الخارجية في التشغيل أو أثناء العمل ويحدث عادة التشغيل الخاطئ نتيجة لثلاث أسباب هي:

1- التصميم الخاطئ Incorrect Design

المقصود بالتصميم الخاطئ هو أن يتم التصيميم بشكل غير صحيح أو من الناحية الأحري أن يكون التصميم منقوصا بمعني أن يهمل أي من العوامل الهامة المؤثرة في الأداء ومن ثم يصبح الجهاز غير عاملا عند هذه النقاط المهملة أو أن الجهاز سوف يعمل في إطار أقل من ذلك المفروض هندسيا وهذا المبدأ ينطبق علي كافة الأصعدة لذات الجهاز أو حتي لجميع الأجهزة منفردة أو مجتمعة معا سواء في دائرة أو في منظومة وقاية.

2- التركيب الخطأ Incorrect Installation

في بعض الأحيان يكون التصميم سليما والأداء صحيحا ولكن تركيب الجهاز الفعلي يمنع التشغيل الصحيح ولذلك لا يتوقف الأمر علي التصميم وحده بل يمتد ليشمل ركن التركيب لهذا الجهاز وليس لهذا الجهاز بل وملحقاته من أجهزة مساعدة أو ملامسات وغيره.

3- التأثير الزمني علي الجهاز أو المعدة Deterioration

عملية التقادم وعمر الأجهزة يدخل قويا في هذا الميدان، حيث أن الجهاز عندما يتقادم يلحق به التلف الفعلي والعملي. يصبح بذلك الجهاز عاجزا عن أداء مهمته بذات الكفاءة التي يعمل بها نفس الجهاز وهو حديث، ولكن من الجهة الأخري تظهر هنا التقنيات الدقيقة مثل تآكل المعدن سواء كان ذلك تلقائيا بسبب عوامل التعرية أو كان بسبب الظروف المناخية أو حتي التآكل الفني مثلا كما يحدث للملامسات التي قد يعتريها التلف نتيجة كثرة التشغيل.

لهذه الأسباب نحتاج إلي منظومة متكاملة للوقاية ضد الأخطاء والأخطار علي عدة محاور:

المحور الأول: حماية مكونات الشبكة الموحدة Component Protection

نستطيع تحقيق هذا الهدف وهو حماية المكونات من خلال وضع أجهزة محددة لكل مكون من تلك الداخلة في تشكيل الشبكة الكهربائية ضمانا لعدم تلفها ويجب أن تكون كافية وتضع كل الاحتمالات والاعتبارات التي تواجه مثل هذه المعدة كما أنه لا يجب أن تتعارض هذه الوسائل المستخدمة مع بعضها البعض بل يلزم أن تكون مكملة ومتكاملة معا.

المحور الثاني: حماية الأحمال العاملة بالشبكة Protection of Loads

علي الجانب الخاص بالأهمية نحتاج إلي حماية الأحمال العاملة بالشبكة الكهربائية بصفة مستمرة وباعتمادية عالية وعموما يمكن أن يتم تقسيم هذه الأحمال حسب دورها في الأهمية إلي مستويات نوضحها إيجازا كما يلي:

أ) المستوى الأول First Level

يشمل هذا المستوي عددا من الدرجات الداخلية مثل:

1- الاجتماعات الرئاسية وكافة الأعمال الخاصة بها

من البديهي أن يكون الإهتمام الأول لتغطية الحمل أن يتوجه إلي المواقع الرئاسية والأجهزة القائمة عليها ومن ثم يكون أول مستوي شاملا هذه المواقع وهي التي تحتاج إلي أقصي درجة من الإعتمادية.

2- مكاتب المسئولين
3 - البرلمانات
4- المناطق العسكرية
5- مراكز المعلومات المركزية
6- مواقع القادة والزعماء

ب) المستوى الثاني Second Level

يتميز هذا المستوي بتحديد تلك الأماكن ذات الأهمية القصوى مثل:

1- المناطق الأمنية
2- المناطق الصناعية الهامة
3- الملاعب الرياضية الدولية
4- قاعات الاحتفالات الرسمية
5- القري والمدن المتخصصة

ج) المستوي الثالث Third Level

يتضمن هذا المستوي الأحمال التالية:

1- الأحمال المنزلية

2- الأحمال الإدارية والحكومية والهيئات الشعبية

3- أحمال الطرقات والشوارع العامة

4- الأحمال التجارية

5- الأحمال الخدمية

المحور الثالث: حماية العاملين في الشبكة Worker Protection

تعني عملية الحماية بالدرجة الأولي بالعاملين في مناطق التعامل مع الشبكة الكهربائية وعلي كافة المستويات ويلزم تطوير مستوي الأداء لهم وذلك من خلال:

1- الإطار الإداري والفني ونظم العمل
2- التدريب المستمر لرفع كفاءة العمل ببرامج التنمية

المحور الرابع: حماية المتعاملين مع الشبكة Human Protection

يجب وضع الضمانات الفنية لأي من المتعاملين سواء كانوا علي علم ودراية بالكهرباء أم لا مما يستوجب الآتي:

1- صياغة النظم الإدارية التي تمنع دخول أي فرد دون العاملين إلي مواقع الجهد الكهربي.
2- تنظيم أسلوب وخطوات عمل العاملين بالموقع
3- تحديد وسائل محددة لا تعتمد علي الغير لدخول غير العاملين سواء للزيارة أو المتابعة أو التدريب.
4- وضع كافة الأجهزة اللازمة لحماية أي شخص يقترب من هذه الشبكة.

هكذا نصل إلي المرحلة التالية من التنسيق الأساسي لمبادئ التمييز وهي ما يمكن حصرها في عدد من الأطر كما في السطور التالية.

أولا: الشكل العام للتمييز General Discrimination

لا بد من توافر عددا من الصفات المحورية في أي من الأجهزة أو الأدوات المستعان بها في نظم الوقاية وهي الصفات التي نلخصها علي النحو:

1- السرعة Speed Quickness

يقصد هنا بكلمة السرعة هو سرعة أداء المعدة أو الجهاز المعني بسرعته لأداء المهمة المنوطة به وهنا في مجال الشبكات الكهربائية تعني سرعة إجراء عملية الفصل التلقائي إذا ما حدث قصر أو خطأ تشغيلي قد يودي بعمر معدة ما من المعدات العاملة بالشبكة الكهربائية، وذلك يعني سرعة غلق أطراف القاطع الكهربائي. يدخل هنا في هذه السرعة عددا من الأزمنة الأخري الداخلة في خطوات الفصل التلقائي بجانب زمن أداء المتمم ذاته وهو ما سوف يتم شرحه بالتفصيل لاحقا.

تنقسم السرعة عموما إلي حالتين من السرعة من حيث وقت الفصل التلقائي وهي:

(أ) الفصل السريع Quick

زمن الفصل السريع هو ذلك الوقت الذي نكون في حاجة إليه حتي يتم الفصل تماما وهوعادة المستخدم في الأماكن ذات الطاقة الكبيرة مثل محطات الجهد العالي وتتمثل في حالتين هما

1- الفصل الفوري Instantaneous Tripping

2- الفصل المتأخر محدد الزمن Definite Time Lag Tripping

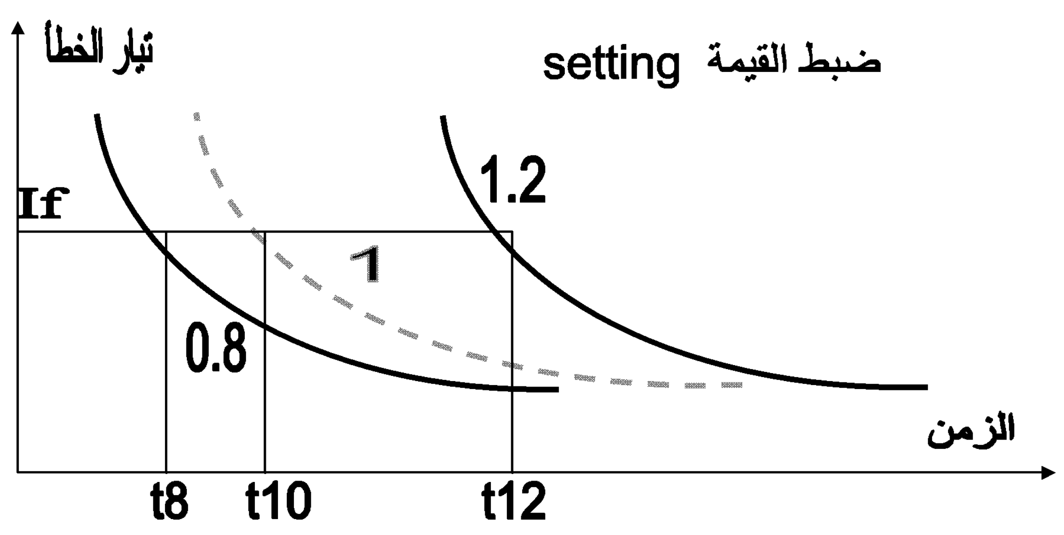
ب) الفصل البطيء المتأخر slow

ذلك الفصل البطئ المتأخر هو ذلك الأسلوب الحاص بالفصل والذي نحتاجه عادة في شبكات التوزيع الكهربائية حيث المستهلكين والمتعاملين مع الشبكة غير العاملين المتخصصين وهنا تظهر الخواص سابقة الشرح وكذلك بعضا من التفصيل بأنواعها المختلفة وهو ما يميز أجهزة الوقاية (شكل 3-1) نري لنفس تيار الخطأ الواحد same fault إمكانية الفصل في أوقات متعددة حسب الأحوال وتبعا للمزمن المستخدم timer، كما أنه يتضمن كلا من النوع المتغير بالزمن المتأخر

وكذلك الفصل الهام في بعض الأماكن المحددة وهو ذو الزمن المتأخر بقيمة أدني Inverse time lag tripping Definite minimum time tripping.

2- الاتزان Stability

يمثل الإتزان مبدأ أوليا لأداء أي جهاز أو معدة كهربائية علي وجه الإطلاق وتعتبر بذلك تلك الصفة الأساسية لتواجد أي منظومة عمل كي تعطي كفاءة وجودة لها ويعتبر الإتزان من أهم الصفات المطلوبة في نظم الوقاية كل علي حدة والكل معا في آن واحد ويجب أن تكون المنظومة متزنة الأداء تحت كل الظروف بشكل عام وظروف الفصل التلقائي عند حدوث القصر أو الخطأ بشكل خاص أو حتى في الحالات الانتقالية والتي تتضمن كلا من تيارات البدء في المحركات وتيارات الدفع في المحولات إضافة إلي حالات التوصيل والفصل المعتادة كعمليات التشغيل النمطية في الشبكة الكهربائية.



الشكل رقم 3-1 : تأثير ضبط المتمم الزمني علي سرعة الفصل

3- البساطة Simplicity

البساطة تعني أن يكون نظام الوقاية وأجزائه بسيطا وغير متكرر العمل واضحا وهي تتضمن العديد من الصفات الفرعية والجوهرية وهي التي يجب أن تتوافر بوضوح في كل هذه الأجهزة وأجزائها ودوائرها أيضا وهي:

(أ) سهولة متابعة الدوائر الكهربائية والأطراف في التجارب الدورية
(ب) سهولة التأكد من سلامة الوصلات والأسلاك
(ج) سهولة رؤية الأخطاء الظاهرية
(د) بساطة إجراء الصيانة
(س) سرعة إستبدال الأجزاء المعيبة

(ش) التوفير المادي عند تلف الأجزاء نظرا لتغيير جزء صغير بدلا من الكل
(هـ) إمكانية عزل الدوائر الكهربائية المكشوفة عن المتعاملين
(و) بساطة إجراء الاختبارات اللازمة

4- الاختيارية Selectivity

الإختيارية كواحد من أهم المحاور التي يرتكز عليها التخطيط الحديث للشبكات الكهربائية حيث أن هذا يؤثر بشكل مباشر علي أهم وظائف المتممات داخل دوائر الوقاية الكهربائية آليا لأنها تختص باختيار القاطع الكهربائي المنوط به الفصل وتحديد (إختيار) التالي له في الإستعداد إذا ما فشل الأول في أداء المهمة الأصلية حتي توابع الكوارث علي بقية أجزاء الشبكة الكهربائية.
تسير الاختيارية في إتجاهين أولهما يختص باختيار المعدة المطلوب حمايتها والثاني يتعلق باختيار زمن الفصل المناسب لها عند تجاوز المقننات القياسية لهذه المعدة وبهذا نجد أن الاختيارية تتضمن كلا من:

أ) النوع ذو الزمن المتدرج في الفصل time graded systems كنوع من التمييز الزمني.
ب) النوع المتتابع زمنيا (النوع المرحل للفصل) في نظم الوقاية في شبكات التوزيع المحلية unit systems وهو المتميز بالسرعة نوعا ما fast في الفصل أو السرعة المحددة للفصل

لكل من هذين النوعين يلزم وضع بعضا من الأسس التي يتأثر بها مبدأ الإختيارية:

أ) تحديد مكان العطل Fault Allocation

يجب تحديد المكان القريب من الخطأ للفصل السريع ثم من يليه مرحليا كلما ابتعد القاطع المنوط به الفصل عن مكان الخطأ.

ب) تحديد نوع الخطأ Fault Type

يتم الاختيار تبعا لنوع الخطأ (شدة التيار أو الجهد أو الذبذبة) وذلك لأنواع الخطأ المختلفة:

1- ثلاثي الأوجه (3 Phase) المتماثل
2- الخطأ غير المتماثل
يدخل في هذا النطاق الأنواع المختلفة للخطأ والسابق تحديدها وهي: (الطور مع آخر – الطور مع الأرض – طورين مع الأرض)

في هذه الحالات (غير المتماثلة) نحتاج إلي الاعتماد علي نظام الترتيبات الثلاثية والتي تشمل كلا من الدوائر بنظام الترتيب المتتابع:

1- موجبة التتابع Positive Phase Sequence

هذا الترتيب يتواجد في جميع الدوائر الكهربائية وفي جميع حالات التشغيل العادية الإستقرارية أو العابرة وكذلك في كل حالات القصر علي السواء فهو ترتيب لا يختفي في أي حالة من الحالات التشغيلية.

2- سالبة التتابع Negative Phase Sequence

هذا الترتيب لا يتواجد عادة مع التشغيل العادي المستقر والمتزن ولكنه يظهر مع بدء نظام الجهد والتيار في الإبتعاد عن الإتزان فيما بينهم حيث تنتقل نقطة التعادل إلي مكان آخر غير الصفري وكذلك تنشأ هذه المركبة عند حدوث القصر في بعض الأنواع من القصر دون غيرها مما يسهل مهمة تحديد نوعية الخطأ وهي مركبة تستخدم كنظرية في العديد من المتممات وفي دوائر الوقاية.

3- صفرية التتابع Zero Phase Sequence

هذه المركبة ذات علاقة مباشرة لحالة التيار الأرضي أي التوصيل مع الأرض وبالتالي فهي تتعلق باسلوب التأريض حيث يكون هناك مسارا للتيار من خلال الأرض ولكنه من الضروري توضيح أن هذه المركبة تختفي في حالة الخطأ مع الأرض إذا ما كان الخطأ متماثل أي ثلاثي الطور معا أو معا مع الأرض. كما يختفي تبعا للمسمي من حالة الخطا بين طورين بدون أرض ومن ثم هذا يساعد في تحديد نوعية الخطأ.

من الجهة الأخري يمكننا التغلب علي تواجدها أو تقليل تأثيرها من خلال قطع الدائرة الصفرية من خلال فتح مسارها كهربائيا ويتحقق هذا بما يلي:

1- عدم التأريض في كل نقطة تعادل
2- إستخدام محولات بتوصيلة الملفات دلتا / نجمة حيث لا يمكننا تأريض الملفات بتوصيلة الدلتا
3- وضع مقاومات عالية أو ملفات ذات ممانعات عالية القيمة عند نقطة التعادل في بعض الأماكن لتقليل قيمة التيار الصفري
4- تحديد أهمية المعدة ذات التوصيل الأرضي في نقطة التعادل كي يتم فصلها مباشرة مع القصر.
5- مدي ومستوي أهمية الأحمال بالقرب من الخطأ كي يكون سريعا للمعدات الهامة.

5- الاعتمادية Reliability

الاعتمادية هي الصفة التي تعني ضمان استمرارية التشغيل دون انقطاع وكلما ارتفعت هذه الدرجة كان مستوى التمييز أعلى وأفضل وهي من النقاط الجوهرية لتلبية احتياجات المستهلك أو المشتركين كما يطلق عليها أحيانا مسمي العول أو مسمي الوثوقية.
هكذا يكون علي أجهزة الوقاية الإحساس بالخطأ ومن ثم تقوم علي العمل في التوقيت المحدد ولذلك يجب أن نمتنع عن التكرارية سواء في الأداء أو في أجزاء الدائرة ذاتها، ويلزم أن تكون المنظومة ككل كاملة وقوية التأثير. نحتاج دائما عند تشغيل الشبكات الكهربائية إلي رفع قيمة الإعتمادية وهو ما يعني تحسين مستوي الخدمة الهندسية والآلية لتشغيل الشبكة الكهربائية ، وذلك بتقليل إحتماليات القصر بقدر الإمكان ووضع دوائر الوقاية المناسبة لتغطية هذا الغرض.

6- الحساسية Sensitivity

هذه الحساسية تشير إلي مدي قدرة المتمم علي تمييز تيار الخطأ أو تيار التشغيل العادي في حالة التيار وبالمثل للجهد أو القدرة وغيرها لأنه في بعض الحالات لا يستطيع الجهاز التفرقة بين حالتي التشغيل العادي أو الطارئ وحالة القصر أو الخطأ أو حتي بعض حالات التجاوز المسموح بها أحيانا وعندئذ نحصل علي الحالات التالية:

(أ) حساسية دائما منخفضة

هذه الحالة تعني أن حساسية الجهاز بحدوث قصر أو خلل مطلوب ضبطه منعدمة أو فوق المنعدمة وبالتالي تكون الحساسية منخفضة، هذا بالتبعية يشير إلي أن الحساسية منخفضة لكل الحالات التي قد تحدث. هكذا يكون القصر المتماثل مثلا غير محسوس أو قد يكون الإحساس به ضعيفا يقرب من تجاهله وبالمثل في كافة العيوب الأخري من القصر غير المتماثل. هكذا يلزم تغطية هذه الوقاية (ضعيفة الحساسية) بوقاية أخري كنوع إحتياطي.

(ب) حساسية دائما عالية

علي النقيضعن الحالة السابقة نجد أنه مع الحساسية العالية يقوم الجهاز بأداء عمله علي أحسن وجه، إذ أنه يتمكن من التعرف علي الخطأ المتواجد بالشبكة بشكل جيد فيعطي الأمكان لحماية الأجهزة والمعدات - بجانب أنه يكون فعالا ضد أي نوع من أنواع القصر. لا يتوقف الأمر عند هذا الحد بل يكون حساسا أيضا للقصر بكافة أنواعة في الأماكن المختلفة

بالشبكة الكهربائية في كل الأوقات، لذلك يمكن الإعتماد علي هذه النوعية ذات الحساسية العالية دائما والتعامل معها براحة كاملة (بدون قلق).

(ج) حساسية دائما عالية ولكنها تنخفض أحيانا

ننتقل هنا بنمط الحساسية إلي حالة مزدوجة الصفات فهي تشمل الحالة الأولي أحيانا وتتضمن الحالة الثانية غالبا ولذلك يقع هذا البند مع حالة تحدث وتتكرر كثيرا في الشبكات الكهربائية علي وجه العموم حيث يكون المتمم حساسا بصفة دائمة للخطأ الذي يقوم بقياسه والعمل فصلا بناء ما يقيسه ولكن ليس في كل الحالات إذ يقل هذا الإحساس ويصبح منخفضا أحيانا وليس كل الوقت. هذا يعني أن هذا المتمم يعمل مع غالبية الأجهزة الوقائية بينما قد يعمل أو لا يعمل في أوقاتا أخري نادرة.

(د) حساسية دائما منخفضة بنما تكون مرتفعة جدا في بعض الحالات

الحساسية المنخفضة دائما كمبدأ تكون هي السائدة وقد تحدث هذه الحالة أحيانا ولكن بشكل قد يندر تواجده بينما يكون علي العكس في بعض الأماكن من الشبكة الكهربائية أي يكون حساسا بشكل مفرط لهذه النوعيات من الخطأ أو حتي لمكان محدد في الشبكة الكهربائية ومن ثم يكون علينا استبعاد مثل هذه الحالات إلا إذا تم الاستعانة به في الوقاية ضد تلك الحالات التي ترتفع فيها حساسية الجهاز بوجود الخطأ أو القصر.

هذه النوعيات الأربعة قد تتمركز إحداها مع أحد أنواع المتممات وقد تزدوج هذه الصفة لتصبح صفتين في أوقات مختلفة تبعا لنوع ومكان القصر فعندما مثلا تعمل الشبكة الكهربائية أو المعدة تحت الحماية بكامل الحمل قد تختلف عن نصف الحمل المقنن أو بدون أحمال أو من الجهة الأخري عندما يكون القصر قريبا غير أن يكون مباشرا أو عن القصر في مواقع بعيدة تماما وهي كلها متواجدة بالفعل علي الساحة كما سيظهر ذلك لاحقا في الفصول التالية من حيث أن الحساسية تعتمد علي نوعية المتمم أو علي نظرية عمله أو علي مكونات الدائرة ذاتها أو حتي علي نوعية القصر أو الخطأ وهكذا. لذلك يجب أن تتوافر صفة الحساسية في كلا النوعين وهما:

النوع الأول: حساسية المتمم

من الضروري الإهتمام بحساسية المتمم حيث يلزم اختيار النوع الملائم من المتممات الذي يستطيع توفير القيمة الأعلى من الحساسية إضافة إلي اختيار القيمة تحت القياس كي توفر حساسية وتفرقة واضحة بين الحالتين أو حتي بالمقارنة مع بقية الطرز التي قد تغني عنه إن كان هذا متاحا.

النوع الثاني: حساسية دائرة الوقاية

حيث يتم وضع المعيار المطلوب مع القيمة المرجعية لتحديد الحالة من عادية إلي حالة قصر يلزم فصله وتتبع القدرة المستهلكة في دائرة الوقاية عند القيمة الدنيا للتيار الفعال وتصبح الحساسية عالية، فالعلاقة الرياضية بين القدرة والتيار هي:

$$I^2 \; Z\,(\text{relay}) = (VA)_b \qquad (3\text{-}1)$$

7- الإخطارية Signaling

يلزم أن تتوافر الأخطارية في المتمم أو دوائر الوقاية عموما كل علي حدة أو مجتمعة التمييز الإخطاري وذلك من خلال أسلوبين مختلفين (مرئي وسمعي) ويكون ذلك متنوعا بالنمط التالي:

(أ) عملية الإعلان عن وجود الخطأ

يجب أن يتم ذلك بشكل مميز أيضا عن بقية الحالات فتكون مثلا آلة التنبيه الصوتي (السرينة Horn) المزعجة صوتيا بجانب الإشارة الضوئية المتقطعة Flickering

(ب) توفير نوع تنبيه محدد لكل عملية تغيير

يكون التغيير هنا مرجعيا للحالة السابقة أي الحالية قبل التغيير ولذلك عند حدوث أي تغيير عن الحالة السابقة يلزم التنويه، وهو ما يتم من خلال الجرس العادي أو بأسلوب الضوء المتقطع

(ج) تحديد مكان الخطأ في الدائرة الأم بالشبكة

يمكن أن يتسنى تحديد الخطأ من خلال الإخطار المرئي تسلسليا داخل حجرة التحكم بسهولة وبساطة إلي خلايا التحكم المتتالية تحديدا لمنبع الخطأ الحادث في آخر خلية فرعية.

8- قابلية الإضافة Extension Ability

نحتاج إلي مثل هذه الصفة لتواكب التغير المستمر في حجم الشبكة أو لإدخال أيمن العناصر الحديثة في الدائرة ذاتها أو بإضافة دائرة تعتمد علي نظرية حديثة أخريمغايرة لتلك النظريات العاملة في هذه الدوائر الوقائية ويلزم هنا بعض الشروط عند الإضافة وهي:

(أ) سهولة الربط بين القديم والجديد

(ب) عدم التداخل بين الوقاية القديمة والجديدة

(ج) إمكانية الضبط المتتابع لرفع مستوى الحساسية ومواجهة أية إضافات في الشبكة الكهربائية.

ثانيا: التمييز في دوائر الوقاية
Discrimination in Protective Circuits

تتكون دوائر الوقاية من مجموعة المتممات ومحولات القياس وكذلك منبع الجهد معا في دائرة واحدة ذات صفات محددة وهو ما يعطي لها صفة دائرة وقاية وهي إما أن تكون دائرة ثانوية Secondary أو دائرة فصل Tripping، ولهذا يجب أن تتميز كل دائرة وقاية بمميزات خاصة:

1- أن يتمتع كل متمم داخل الدائرة بالخواص السابقة في البند السابق (أولا)
2- بساطة الدائرة الكهربائية مما يؤدي إلي بساطة التفتيش الهندسي عليها أو ما ينعكس علي أعمال الصيانة الخاصة بها فيجعل التعامل مع الدائرة بسيطا وسريعا ودون مجهود.
3- أن تكون قليلة الفقد الكهربائي للتشغيل أثناء الفصل التلقائي حتى تعطي الفرصة لمنبع التيار والجهد بتوفير القدرات المختلفة لكافة الدوائر والتي تعمل غالبا في آن واحد
4- أن تكون غير مستهلكة للطاقة وقت التشغيل العادي للشبكة الكهربائية أو أن تكون عند أدني مستوي لاستهلاك الطاقة في الحالة الساكنة لدائرة الوقاية
5- أن تكون الدائرة ذات حساسية عالية للغرض المناط بها
6- أن تكون الدائرة ذات تصميم يسهل الاختبارات الدورية بدون عائق أو مشكلات
7- عدم التكرار بين أغراض الفصل أو وسائل الفصل
8- الاتزان الكامل أثناء التشغيل العادي بدون أخطاء أو التشغيل أثناء حدوث القصر.

بناءا علي ما سبق نجد أن دوائر الوقاية تعمل علي ثلاث محاور هي:

المحور الأول: التمييز لنوع الخطأ Type of Fault

هذا النوع من التمييز كمحور للنوع المخصص له يتحدد علي ضوء نوع الخطأ الحادث في الشبكة وهو ما ينقسم إلي فرعين:

الفرع الأول: خطأ مع الأرض Fault to Earth

يختص هذا النوع بالخطأ ذو الاتصال مع الأرض في حالات الخطأ والتي تسمح بمرور التيار في الأرض وهو المعروف باسم المركبة الصفرية zero sequence current أو يتسبب في ظهور جهد علي نقطة التعادل وهو ما يسمى باسم residual voltage at neutral point وفي أي منهما نجد أن التعامل معهما يمثل حالة طارئة غير مستقرة ويجب إعادة الأوضاع إلي حالة التشغيل العادي . وتعتمد هذه التيارات علي عدد من العوامل هي مقاومة التربة التي يمر بها التيار (تتراوح من 10 أوم متر للتربة الرطبة عضوية التكوين إلي 100للرطبة و 1000 للجافة و10000 للصخرية ويمكن تقليل المقاومة بإضافة مواد كيميائية مثل البتونيت أو الماركونيت أو كلوريد الصوديوم وأحيانا كبريتات الماغنيسيوم) ودائرة المركبة الصفرية وهي التي تعتمد علي شبكة التأريض والتي تتنوع بشكل كبير حسب حجم الشبكة الكهربائية والتيارات الصفرية بها .

كما تظهر أهمية أسلوب التأريض للشبكة الأصلية وهو ما ينحصر في التأريض المباشر حيث يتم الاتصال مع الأرض مباشرة إما من خلال مقاومة أو ممانعة أو ذلك النوع من التأريض من خلال محول وفي جميع الأحوال نصل إلي تقليل قيمة التيار الصفري بقيمته الدنيا الممكنة.

الفرع الثاني: خطأ بعيدا عن الأرض Fault without Earth

يمثل هذا الخطأ غير المتماثل ويأتي بتيارات لا تشمل المركبة الصفرية مثل قصر ثلاثي الطور سواء كان مع الأرض أو بدون إتصال مع الأرض وهي كلها أخطاء يتسبب عنها أوضاع خطرة علي المعدات والمولدات والمحولات بالشبكة الكهربائية ومنها تلك الحالة عندما يظهر النظام السالب.

يتفرع كلا من الفرعين إلي خطأ متماثل symmetrical أو غير متماثل unsymmetrical ففي الخطأ المتماثل وهو القصر ثلاثي الوجه وهو إما أن يكون متصلا مع الأرض (الفرع الأول) أو قصر بين الأوجه فقط دون الأرض (الفرع الثاني) وكذلك يتم تصنيف النوع الثاني من الخطأ غير المتماثل أي خطأ غير متماثل متصل مع الأرض (الفرع الأول) أو غير متصل مع الأرض (الفرع الثاني) وهكذا نستطيع وضع نوع الخطأ بالشكل:

(أ) قصر متماثل مع الأرض

مثل القصر 3 أطوار مع الأرض أو 3 أطوار بدون التوصيل مع الأرض

(ب) قصر غير متماثل مع الأرض

يشمل هذا الخطأ حالتين محددتين هما: وجه واحد مع الأرض أو وجهين مع الأرض

(ج) قصر بدون الأرض بين الأطوار الثلاث (متماثل)

(د) قصر بدون الأرض غير متماثل

يشمل وجه مع آخر

كما يمكن التمييز بينها بطريق آخر من خلال القيمة كخطأ فتكون:

1- قيمة الجهد
2- قيمة التيار
3- قيمة القدرة (موجبة أو سالبة)
4- قيمة المقاومة المقاسة (الوقاية المسافية)
5- قيمة الذبذبة

نستطيع أيضا أن نضع هذا التمييز بشكل آخر وهو ما يتبعه التمييز المرحلي وهو ما يمكن أن نضعه في:

1- قصر شديد الخطورة
هذا الخطأ يعني الخطورة علي المعدة ومن ثم لا بد وأن يكون الفصل سريعا مثل حالات القصر في ملفات المولد أو المحولات والقضبان الرئيسية في المحطات.
2- قصر متوسط الخطورة
يعتبر زيادة التيار من أهم المعاملات التي قد تدخل تحت هذا البند حيث تكون الخطورة هائلة ولكنها قد تكون بعيدة التأثير ويدخل هنا جزءا من الوقاية المسافية.
3- خطأ قليل الخطورة
يدخل في هذا النطاق أخطاء تجاوز الحمل أو القصر البعيد غير المؤثر
4- خطأ منعدم الخطورة
ينعدم تأثير الخطأ بأن نستطيع تجاهله وذلك مثل تحرك نقطة التعادل في النظم الكهربائية عند شبكات التوزيع وكذلك الارتفاع الحراري للكابل داخل الحدود المسموح بها استثنائيا وأيضا التحرك الطفيف للذبذبة أو التفاوت المسموح بقيمة الجهد عند التوصيل مع الشبكة (التزامن).

المحور الثاني: التمييز لمكان الخطأ Fault Location

نذهب الآن إلي الناحية الأخرى فنجد دوائر الوقاية قد تختص بأداء عمل محدد للتمييز عن مكان الخطأ كدائرة وقاية مستقلة فنجد ذلك يتمثل في:

(أ) الوقاية التفاضلية Differential Protection
هي لحماية الملفات سواء في المولدات أو المحولات لتحديد مكان الخطأ إذا ما حدث داخل الملفات نفسها

(ب) الوقاية لاتجاه التيار أو القدرة Directional Protection
تستخدم هذه النوعية من الوقاية لتحديد مكان الخطأ عندما يتغير اتجاه سريان القدرة ليصبح في اتجاه الخطأ بدلا من الاتجاه الصحيح والمحدد مسبقا لمرجع الإتجاه

(ج) وقاية المسافة Distance Protection

أنها ضرورية لتحديد مكان الخطأ أو القصر علي طول مسار الخطوط أو المغذيات أو الكابلات وهي كلها ذات صفة المسافة الطويلة.

المحور الثالث: زمن الفصل Clearance Time

التمييز الزمني علي هذا المحور يتأثر بعدة معاملات فنجد أن دائرة الوقاية المختصة تقوم بحساب الزمن اللازم للفصل التلقائي كدائرة مستقلة وهي التي يمكن ضمها بعد ذلك داخل منظومة الوقاية كما سيتم الشرح في الفصول القادمة. داخل هذا المحور نتعامل مع الزمن ذو العلاقات المختلفة والتي يتبعها المتمم الزمني timer كما يتم توزيع هذا الزمن علي طول مسارات وأماكن نظم الشبكات الكهربائية ذاتها فنجد الزمن المتدرج مع الشبكات الكهربائية الحلقية والزمن المتدرج أيضا مع

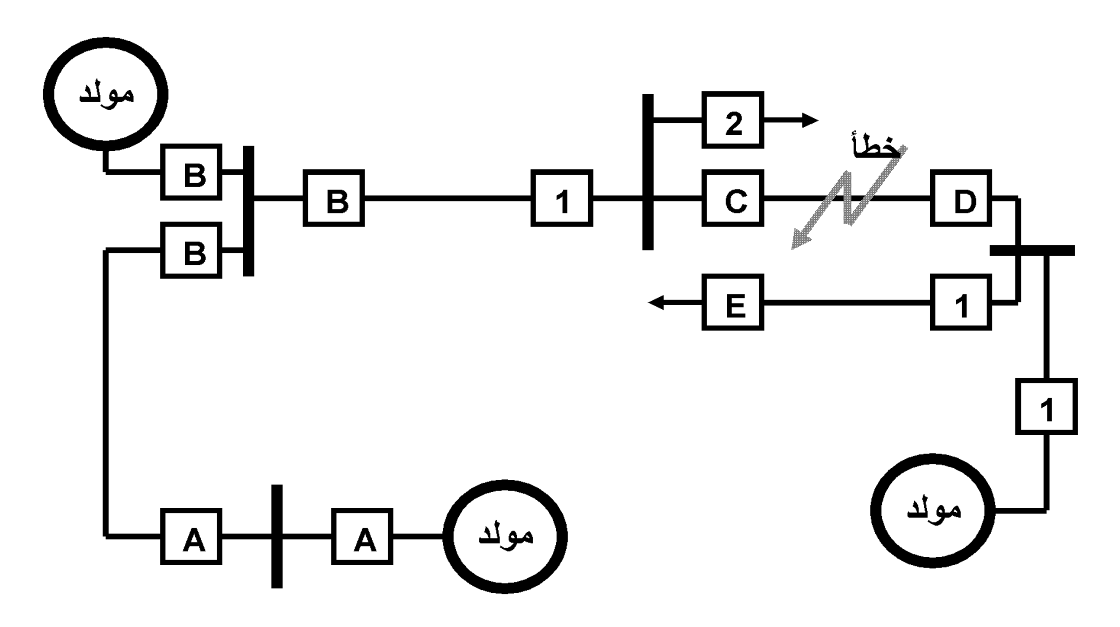
الاعتماد علي تحديد اتجاه واحد لسريان القدرة والزمن المتتابع مع شبكات التوزيع الكهربائية، ويضاف إلي ذلك زمن المصهر في أداء الفصل خصوصا علي مستوي شبكات التوزيع والجهد المنخفض.
هكذا نستطيع وضع محاور مباديء التمييز الزمني علي النحو:

1- الزمن التسلسلي Sequential Time

يمثل هذا المحور ما يعني زمن التتابع المتتالي في الفصل للقواطع الكهربائية علي طول المسار لحركة القدرة الكهربائية بالشبكة وهو المتعلق بالشبكات الكهربائية محورية التوصيل كما نراها في الشكل رقم 3-2 حيث الشبكة المحورية لمولدات وقد تم توقيع مكان الخطأ في منتصف الشبكة بينما يعطي الجدول رقم 3-1 زمن الفصل لكل قاطع محدد بالشبكة الكهربائية وهو فصل مرحلي تبعا للقرب من محطة التوليد.

الجدول رقم 3-1: زمن الفصل لكل قاطع بالشبكة المحورية

القاطع	C	D	B	E	A	1	2
الزمن (ث)	0.1	0.1	0.6	0.6	1.2	0.3	0.8



الشكل رقم 3-2: الشبكة المحورية

نلاحظ من الجدول رقم 3-1 أن:

زمن فصل قاطع رقم 1 = زمن فصل القاطع C + زمن مرحلي (0.2) = 0.3 ث

زمن فصل القاطع رقم 2 = زمن فصل القاطع B + زمن مرحلي (0.2) = 0.8 ث

2- الزمن المتدرج حلقيا Graded Ring

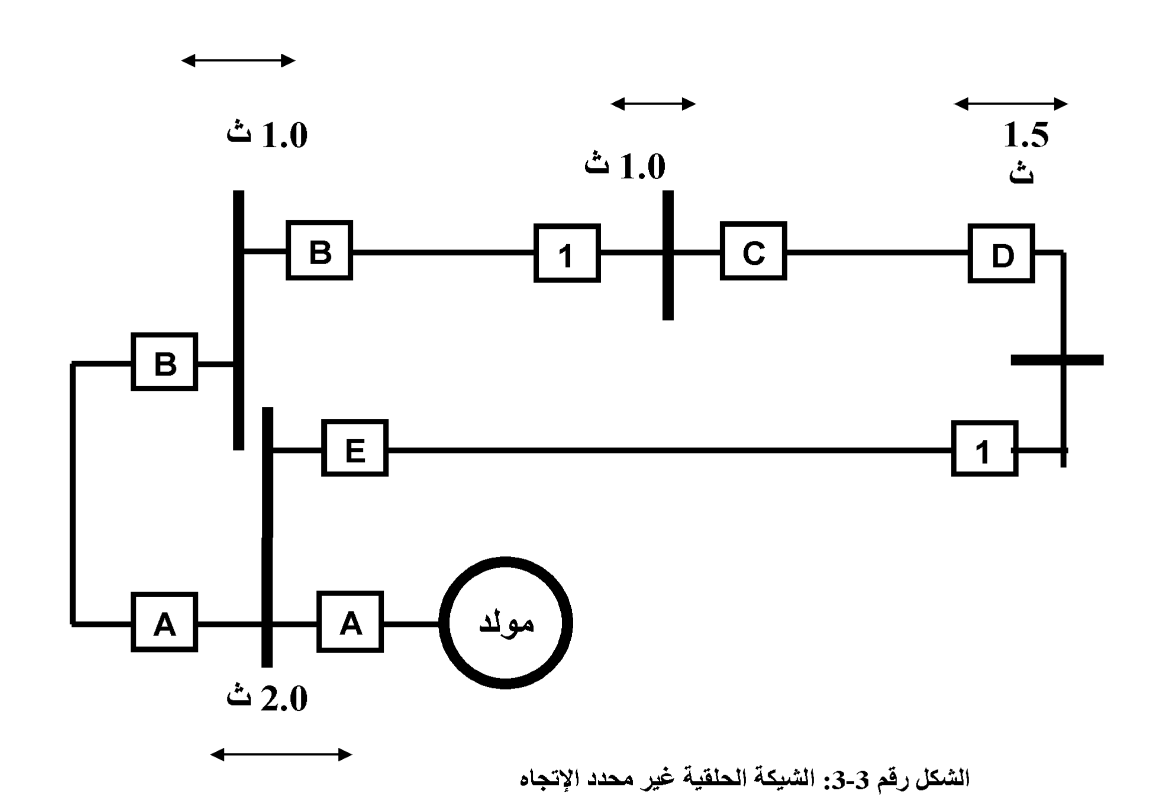
نتيجة التشابك بين المحطات والخطوط الكهربائية داخل الشبكة الموحدة تتعقد الأمور عند التعامل معها ككل ولذلك يأتي عنصر التمييز كواحدا من الأسس الهامة التي تغطي كافة الأغراض ولذلك نجد النظام المحوري السابق (الشعاعي) يختلف عن النظام الحلقي ومن ثم نتعامل مع النظام الأخير علي مبدأ قد مغايرا عن ذلك السابق ويتبع في ذلك طريقتين:

أ) نظام غير محدد الإتجاه Non Directional

ذلك النظام هو الأكثر إنتشارا في مجال الوقاية وهوالمعروف بالاسم الإنجليزي:

Non Directional Ring With Graded Protection

وقد تم توضيح مبدأ التعامل من خلال هذا النظام في الشكل رقم 3- 3 حيث نري كيفية أسلوب تسريع الفصل التلقائي نتيجة لوجود محطة التوليد.



الشكل رقم 3-3: الشبكة الحلقية غير محدد الإتجاه

ب) نظام محدد وغير محدد الإتجاه Directional and Non Directional

نتعامل هنا بالأسس السابقة مع إضافة جزء جديد محدد للإتجاه وهذا النوع من الضبط أفضل عن سابقه ويعتبر الأمثل إذا كانت الحسابات صحيحة وله المسمي باللغة الإنجليزية:

Directional and Non Directional Ring with Graded Protection

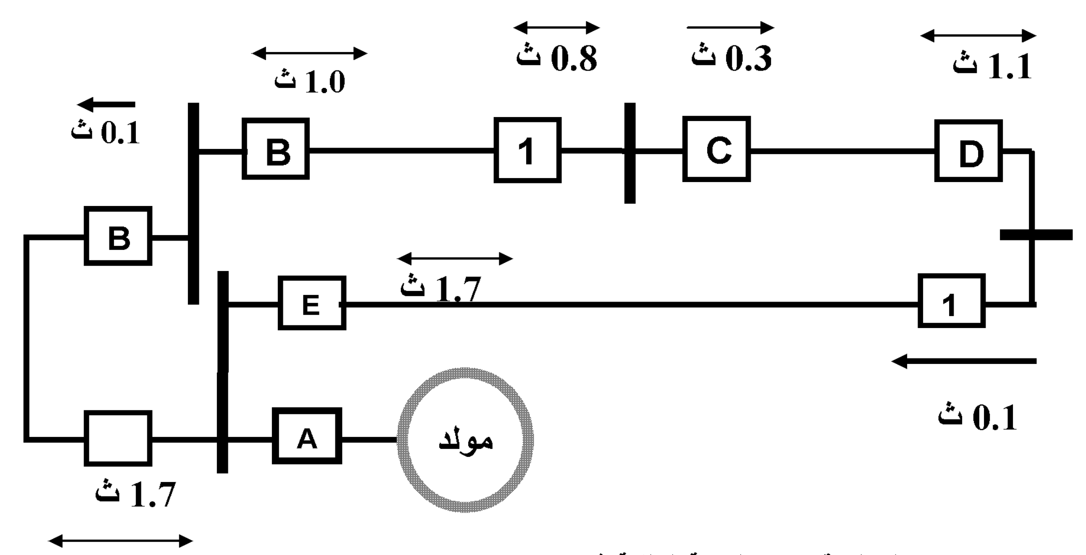
كما تظهر أهميته بالقرب من محطات التوليد حيث أنه إذا ما كان الخطأ مسببا تيارا إلي المولد يكون الفصل سريعا بينما يكون قاطع معه وعلي نفس القضبان ويفصل متأخرا نتيجة لعدم تحديد إتجاه عند التمييز للفصل كما في الشكل رقم 3-4. هكذا يتضح لنا أن عدم ضبط الإتجاه يعني تسريع عملية الفصل التلقائي.

3- الزمن التعاكسي Inverse Time Lag

هناك علاقة وطيدة بين التيار والزمن المطلوب خلاله الفصل التلقائي وهذه العلاقة معطاه في الشكل رقم 3-5 فنري من الشكل أنه كلما كان التيار هو المقنن كاملا فلن يتواجد أي فصل وهو المبين بالسطر الأفقي تحت المنحني، أما إذا ما زاد التيار عن المقنن يبدأ الخطر علي المعدة أو المعدات وعندئذ يظهر زمن الفصل (المنحني) حيث يكون زمن الفصل بصورة متدرجة بشكل عكسي وليس خطيا عكسيا بل أسيا عكسيا. ذلك معناه أنه كلما زادت قيمة التيار كلما أسرعنا في الفصل بسرعة أكبر.

ثالثا: التمييز في منظومة الوقاية
Discrimination in Protective Systems

تتكون منظومة الوقاية من عدد من دوائر الوقاية ولذلك فإنها لابد وأن تشمل دوائر ذات تمييز وخواص كما ذكرت في البند السابق (ثانيا) والخاص بالتمييز في دوائر الوقاية إضافة إلي عددا من الصفات الهامة وهي:



الشكل رقم 3-4: الشبكة الحلقية غير محدد ومحدد الإتجاه

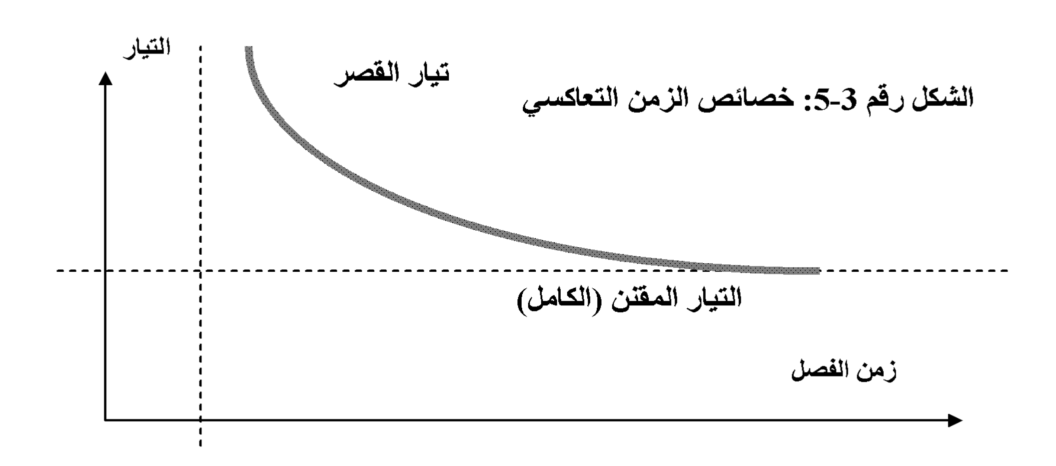
1- عدم التداخل بين الدوائر المختلفة بها

2- دقة الاختيارية للأداء فيها

3- تحديد مناطق الوقاية بين الدوائر فيها

4- سهولة الاختبار

بعد هذا الإيجاز فأصبح تحت هذا العنوان من المتاح الربط بين دائرة وقاية ذات تمييز مكاني مع أخري ذات تمييز لمكان الخطأ أو لنوعه أو لثلاث معا وبذلك يظهر نوع التمييز هنا مع منظومات الوقاية من النوع المختلط لنوعين أو أكثر من تلك التي وردت في دوائر الوقاية.



الشكل رقم 3-5: خصائص الزمن التعاكسي

رابعا: التمييز لشبكة الوقاية
Discrimination in Protective Gear

تتجمع كل منظومات الوقاية التي تتعامل مع المحطة أو الشبكة الكهربائية في موقع ما في هذا النمط من المسمى المعنون لهذا البند وهو ما يطلق عليه هنا شبكة الوقاية مما يعني مجموعة من منظومات الوقاية متفرقة أو متناثرة ولكنها تتعامل باسلوب الفريق الواحد، فكل منظومة مستقلة تعمل علي وقاية جزء محدد داخل المحطة ويتم التنسيق الآلي بين هذه المنظومات للعمل سويا بمنهجية واحدة، ولذلك ينبغي توافر الخواص التالية في شبكة الوقاية:

1- تحديد الفواصل بين مناطق الوقاية وزمن فصل كل منها
2 - دقة الاختيارية
3- استكمال الوقاية الاحتياطية للمنطقة ككل وتغطية المناطق الميتة.
4- سهولة الاختبار والتفتيش

في النهاية نجد أن التمييز في أسلوب الوقاية ككل يخضع لبعض الأبعاد نسردها فيما يلي:

1- البعد الزمني   وهو ما تم شرحه باستفاضة ولا يحتاج إلي المزيد

2- بعد المسافة ويعتمد علي ثلاث معاملات هي الاتجاه أو الأسلوب المرحلي أو الوقاية الاحتياطية Back up

3- بعد القيمة value ويوضع بثلاث مجالات وهي إما داخل أو خارج نطاق القيمة أو علي حدود النطاق تماما

4- بعد الفصل الخاطئ False tripping وهو ما يشير إلي حالتين أما إعادة التوصيل re-closing أو عدم إعادة التوصيل وبالنسبة لحالة إعادة التوصيل فله طريقان هما إعادة التوصيل التلقائي كما في شبكات الجهد الفائق أو إعادة التوصيل اليدوي مثل كابلات التوزيع الكهربائي والمغذيات في شبكات التوزيع علي الجهد المنخفض.

5- بعد مختلط mixed وهو ما يمكن أن ينتهج أسلوب التعامل مع كل الأبعاد السابقة بشكل أو آخر معا في بوتقة واحدة ورؤية موحدة.

2-3: أنواع المتممات Types of Relays

متممات القياس meter relays تتمتع بمدي واسع للقياس قيمة ونوعيات إضافة إلي أن المبينات الرقمية digital indicators تقدم الإمكانية للمشاهدة علي الشاشات الإلكترونية monitoring بجانب القياس الدقيق علاوة علي القدرة علي التحكم control في أي من المعاملات تحت القياس. بطبيعة الوضع المتمم يتميز بالدقة العالية في الأداء ومن ثم توضيح المبينات indicator accurate يجانب إمكانية الإكثار من نقاط التلامس set points الخاصة بالضبط، وهذه النقاط هي التي تسبب تشغيل المبينات ووسائل التنبيه والإنذار إضافة إلي دوائر التحكم المختلفة لمتابعة أداء العمل المنوط به. هذه الخصائص مناسبة تماما لتشغيل وقاية ضد إنخفاض الذبذبة load shedding application للشبكة الموحدة علي أطراف شبكة التوزيع الكهربائي. جدير بالتنويه أن تصنيف المتممات هو ما يمكن وضعه في التنسيق التالي:

تشتمل المتممات Relays عادة علي عدد من نقاط التوصيل Pin Plug-in تتراوح ما بين 8 إلي 11 نقطة، كما يتزاجد منه أصنافا مختلفة مثل:

1- متمم إعادة البدء التلقائي Automatic Restart Relay
2- متمم التحكم الآلي Automation and Control Relay
3- متمم مساعد في الصناعة Auxiliary Industrial Relay
4- المتمم الباحث عن الشرارة Arc Detecting Relay
5- متمم التحكم في القاطع الكهربائي Circuit Breaker Control Relay
6- متمم وقاية القاطع الكهربائي Circuit-Breaker Failure Protection Relay
7- متمم التسرب الأرضي Differential Earth Leakage Relay
8- متمم إعادة التوصيل التلقائي Reclosing Relay

يجب أن تتوافر الشروط التالية في المتممات بصفة عامة:

1- إمكانية الضبط الزمني مع التشغيل بالتيار الكهربائي أو بدونه في زمن قصير
2- الإعتماد علي سياسة المراحل المتتابعة للفصل
3- السماح بأسلوب الوقاية بالاشارات اللاسلكية
4- الإعلان عن إنتهاء الخطأ
5- التشغيل العادي بدون خطأ بأن يكون المتمم بدون تيار

من الجهة الأخري تأتي الملامسات Contactors كجزء رئيسي في دوائر الوقاية وهي ما تعني نقاط التوصيل وهي أما أن تكون ملامسات مستقلة تضاف إلي المتمم أو أن تكون هي ذاتها المتمم بالفعل ومن ثم يصبح المسمي هو متمم الملامسات Contactor relay وفي الناحية الأخري نجد أن المزمنات Timers تمثل جزءا هاما في الوقاية حيث أنها أحد أنواع المتممات بصورة عامة.

هذه المتممات قد تتنوع أيضا عددا متغيرا متباينا في الأداء وهي ما يمكن أن تعمل مع النظم آلية التحكم automatic control systems مثل:

1- ترتيب المركبات Phase sequence
2- عدم التوازن unbalance
3- قياس الحرارة Thermistores relay
4- المتمم الحساس للتيارCurrent sensitive relay

تعمل هذه الأنظمة آليا بوضعيها اليدوي والآلي ففي الوضع الأول إشارة الأنالوج من القياس تعزل بمفردها وترسل إلي دوائر الفصل، أما مع الوضع الآلي تعاد أرسال الإشارة هذه مباشرة إلي الجهاز (الدائرة) المختص.

وقاية النظم الكهربائية Protection Power System تحتوي علي العديد من المتممات متعددة الغرض multifunction protective relays وعليها تغطية كافة الأخطاء والأعطال بأسلوب بسيط simple operation متقدم وآليا تبعا لمتطلبات الشبكة الكهربائية والأحمال معا.
هذه المتممات هي التي عملت محل العديد من المهام الأساسية فمنها ظهرت ما يمثل اليوم الكاشفات Detectors أو الحساسات Sensors مثل حساسات الضغط Pressure sensors او محولات الطاقة Transducer أو تلك التي عملت مثل المفاتيح مباشرة مثل تلك التي تعرف باسم مفاتيح الضغط Pressure switches.
تتنوع المتممات الديناميكية خصوصا لتعمل بمختلف الصفات ومنها:

أولا: محولات الطاقة Transmitter

تعمل هذه المحولات الضغط مثل باقي المعاملات الممكنة والتطبيقات الأخري معتمدا علي خصائص التشغيل كمقاومة الجهاز والدقة العالية المطلوبة وقد تظهر منها طرزا وأصنافا:

النوع الأول: محولات الضغط مع درجات الحرارة العالية
High Temperature Pressure Transmitter

النوع الثاني: محولات للضغط المنخفض Low Pressure Transmitters

النوع الثالث: محولات الطاقة لضغط الإنصهار في البثق
Melting Pressure Transducer for Extruders

هذه النوعية الثالثة من محولات الطاقة تتخصص للعمل في البيئة القاسية وخاصة الصناعات البثقية وتلك التي تتعامل مع البوليمرات Polymer Processing Industries ولها من الدقة ما يمكنها من التعامل مع أي شروط مطلوبة.
محولات الطاقة transducer عموما لها من المزايا Advantages المتعددة والتي يمكن حصر أهمها في:
1- دقة القياس مرتفعة High accurate
2- من الممكن التعامل مع درجات الحرارة العالية والتي قد تصل إلي 250°م 250°C
3- سهل التعامل مع التكنولوجيا المتقدمة
4- متاح له التعامل مع لقياس مستوي السوائل (مع العوامات)
5- له من مقننات الجهد والتيار مدي واسع *0...5 V, 0...10 V, 0.5...4.5 V and 4...20 mA output*
6- دقة عالية أفضل من ±0.1% مع الحساسات السعوية ceramic capacitive sensor كمحولات صناعية بجانب الإتزان التام long term stability
7- بساطة المعايرة *simple calibration* مع الحدود المختلفة للقياس *ability limits range*

ثانيا: مفتاح الضغط الهيدروليكي Hydraulic Pressure Switch

هذا المفتاح يعمل علي عدة محاور منها:

1- مفتاح تيار خفيف مع الضغط أو التخلخل

Low current non adjustable pressure / vacuum switch

2- مفتاح الضغط السعوي Capacitive Pressure Switch

ثالثا: حساسات آلية Sensors

هي أساسا للضغط الهيدروستاتيكي Hydrostatic Pressure Sensor
ينتشر إستخدام هذا النوع من المتممات ومنها بعض التطبيقات مثل:

النوع الأول: حساسات ضغط Pressure Sensors

تتعدد أصنافها وشكلها ومكوناتها فنجد منها:

1- حساسات تكبير Amplified Pressure Sensors
2- حساسات معايرة Calibrated Pressure Sensors
3- حساسات تعويض Compensated Pressure Sensors
4- حساسات قياس بارومترية Barometric Pressure Sensors
5- حساسات أساسية Basic Pressure Sensors

النوع الثاني: حساسات متنوعة الأغراض

تتباين الأهداف والحاجة إلي حساسات للعمل في كافة المجالات ومن ثم نضع تقسيما عاما في الصورة:

1- حساسات صلب لا يصدأ Stainless Steel
2- حساسات التآكل المعدني

هي كتلك الحساسة لتواجد التآكل الخفيف البسيط Pressure Sensors for Lightly Corrosive

3- حساسات لنبضة الضغط Sensors Pressure Wave

يستعان عادة بهذا النوع من التقنيات pressure wave technique في وسائل النقل العام public transportation وخصوصا لأبواب الحافلات door opening system كما يكون تطبيقه مناسبا للمصحات والمستشفيات الكبري sanitary area.

4- حساسات لأغراض أخري

تتعدد مجالات التطبيق والإستخدام مثل:

1- متحكمات Electronic Controllers

أنها تتحكم في المعاملات تحت القايس مثل:(ضغط – حرارة – مستوي سوائل – زمن)

2- البحث عن الوضع المخالف

هذا الوضع هو المرجع والمحدد مسبقا مثل تآكل المواد والمهمات أو ظهور علامات ومؤشرات مسبق تحديدها.

3- حساسات الفجوات Cavity Sensor

هذا النوع يصلح لأغراض السباكة injection molding وتشكيل أو قولبة المعادن.

4- حساسات تفاضلية Differential Sensor

يعمل علي الجهد الضئيل والذي يصل إلي عددا من الملي فولت ومن الممكن أن يكون رقميا وبالتالي يصحبه الحزم البرامجية الخاصة به وهو يستخدم في الطيران Aerospace وقياس العمق Automotive Barometers Depth وفي الأعمال البحرية Marine Off Shore وفي الصناعات الإلكترونية وإختبار أشباه الموصلات Industry Semi-Conductor Laboratory Test وفي المعايرة في أعمال السكك الحديدية Calibration Railways Clean Room بجانب معامل الضغط العالي HVAC

5- حساسات السطح التكاملية Sensor Interface IC

هو عبارة عن حساس متعدد القنوات multi-channel Sensor ويعطي ديناميكيا generates dynamically في أغلب الأحوال حوالي 3 إشارات نتيجة التيار والجهد الكهربي من خلال التحكم في مقاومة القنطرة controlled resistance bridges مع الإمكانية في تغيير الحساسية وهو بذلك يقدم نظم التحويل من الأنالوج إلي النظم الرقمية systems with A/D وهذا ما يجعله مسايرا للتطور الحادث في التقنيات العالية.

يساعد هذا الجهاز علي الإتزان الحراري بالمعايرة المستمرة مع القيمة المرجعية فهو يعتمد علي الإشارات العالية (الواضحة والمميزة) علاوة علي أنه يستهلك القليل من الطاقة. إضافة إلي ذلك فهو قادرا علي تقييم الإشارات التفاضلية بالاستعانة بمقاومة القنطرة في الدائرة الكهربائية.

النوع الثالث: حساسات الأنالوج Analog Sensor

يناسب هذا الحساس الأعمال الصناعية ويتميز بانخفاض سعره وحجمه كبير نوعا ما، ويمكن أن يعمل مع النظم التفاضلية ويعمل علي الضغط المنخفض أو العالي وله إمكانية إخراج رقميDigital Output ويتمتع بالتوافق مع أداء عملية التكبير في القياس أو النتائج

رابعا: القياس الميكانيكي Mechanical Melt Pressure Gauge

تتنوع أصناف الأجهزة المستعملة في هذا الصدد وخاصة لنقاط الصهر الميكانيكي Mechanical مثل:

1- قياس الإنصهار الميكانيكي Melt Pressure Gauge

يقدم هذا الطراز غالبا العلاقة المباشرة بين الإنصهار الميكانيكي والقياس الإلكتروني المرادف line of robust Mechanical and Electronic Melt Pressure Gauges، ويكون خاصا وملائما للظروف البيئية القاسية harsh environments العاتية أحيانا rugged مثل ما هو الحال في الصناعة الإنبثاقية للتشكيل Extrusion Industry، من الناحية الأخري يمكن الإستعانة بهذا النظام إما للقياس فقط measurement أو لتأمين وأمان التشغيل safety تحت الرعاية.

2- مبينات ضغط الإنصهار Melt Pressure Indicators

3- المنبهات Alarms

أنها عبارة عن أجراس تنبيه أو السرينة في بعض الأحيان.

4- نواقل منمنمة Miniature Transmitter

تعتبر هذه النواقل من المساعدات الهامة في شبكات الوقاية الخاصة بالنظم الكهربائية حيث نحتاج إلي إرسال البيانات الموجودة بالمحطة إلي مركز التحكم المختص بل وقد يكون هذا الإرسال معمما في حالات أخري، وذلك ما سوف يتناوله هذا الكتيب في الفصول الأخيرة. نجد أيضا أن هذا النظام يتعامل بكثرة مع الضغط pressure وقياساته لبساطته، كما يستعان به في دورات السوائل المعقدة.

هكذا ينطلق النوع المتطور منه ليواكب سريان السوائل والغازات والهواء air flow ويكون متعدد الأداء Multifunction transmitter sensor فمثلا يكون قادرا علي تمييز درجة الحرارة temperature وأيضا الرطوبة humidity أو الضغط pressure أو سرعة الهواء air velocity كما أنه يتميز بإمكانية ضبط قيمة اللقط أو الغمز وغالبا ما نحتاج هذا الضبط المرحلي تبعا للقياسات التكنولوجية Interchangeable measuring sensor (SPI technology) ويكون ذلك الضبط حول الصفر (فوق/تحت) كما يسمح بوضع أربعة معاملات في نفس الوقت Simultaneous display of parameters.

يعمل هذا المفتاح بالنظام التفاضلي علي الضغط ويكون ملائما للعمل في آليات التكييف air-conditioning والتهوية Ventilation لمتابعة monitoring سريان الهواء air flow في المجاري الهوائية air ducts وفي المرشحات filters وللمراوح fans وهي عموما صالحة للإستخدام مع الهواء والغازات غير القابلة للإشتعال non-inflammable أو تلك غير الخطرة non-aggressive gases.

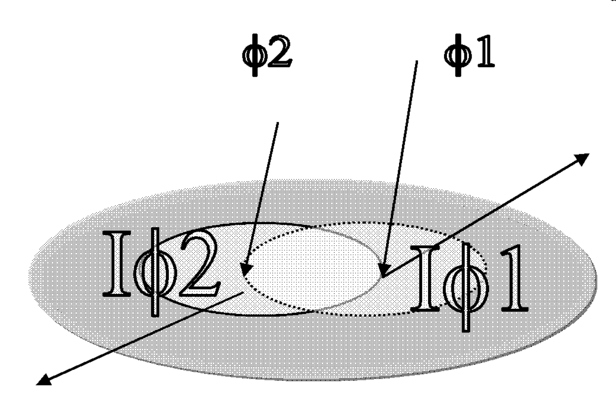
من الضروري معرفة أن الأنواع الإلكترونية electronics من هذه المتممات تتمتع بدقة عالية high resolution مع معدل العينات high sampling rate حيث البساطة والسهولة في أداء الخدمة simple servicing المعنية (overload memory) ويكون سهلا في التركيب easy installation كما أنه لا يحدث ضوضاءا ويتناقل البيانات بسهولة free data transmission.

يستخدم هذا النوع دائما في العديد من التطبيقات الهندسية والفنية مثل دوائر الهواء المضغوط pneumatics في الكثير من التطبيقات والهيدروليكية hydraulics في الصناعات الثقيلة والماكينات الآلية automation machines وفي أدوات الماكينات machine tools وفي الأوعية vehicles وماكينات شحن البلاستيك plastic injection machines وماكينات النجارة wood machines والمصانع الكيميائية chemical plants.

تتباين المتممات التقليدية علي نطاق واسع وهي جميعها ذات أهمية بالغة في دوائر الوقاية عموما ولهذا سنطرح أهم هذه المتممات والأكثر شيوعيا في السطور التالية من حيث المبدأ والفهم الصحيح لها مما يجعل الموضوع سهلا في الفهم للقارئ حديث العهد بهذا التخصص العلمي.

أولا: المتمم التأثيري Induction Relay

المتمم التأثيري هو النوع المستخدم لدوائر التيار المتردد فقط لأنه يعتمد علي التأثير الحثي بين المغناطيسية المتولدة في ملف كما بالنسبة للمحولات ولذلك لا يصلح للتيار الثابت وبهذا نري الشكل رقم 3-6 يبين العزم الناشئ من تواجد نوعين من الفيض المغناطيسي ϕ_1 , ϕ_2 وهما المؤثران علي حركة القرص ولهما القيمة القصوى ϕ_{1M} , ϕ_{2M} علي التوالي حيث تم تحويل التعبيرات الرياضية التناسبية إلي معادلات بها ثابت التناسب (K) وهي تلك التي تبين معها العلاقة الرياضية التالية فنجد العزم T المؤثر علي القرص هو:



الشكل رقم 3-6: متجهات الفيض والتيار

$$T = (K)\ \phi_1\ \phi_2\ \sin\alpha \qquad (3\text{–}2)$$

تظهر الزاوية α بين كلا من الفيضين في المعادلة تبعا للذبذبة ω بالمعادلتين:

$$\phi_2 = \phi_{2M} \sin \omega t \qquad (3\text{-}3)$$

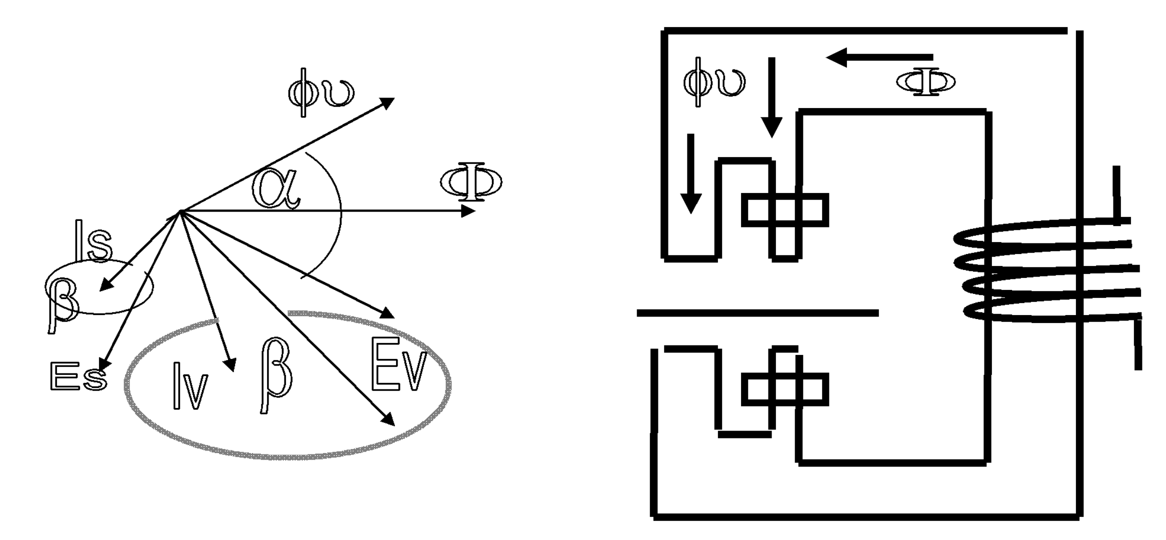
$$\phi_1 = \phi_{1M} \sin (\omega t+\alpha) \qquad (3\text{-}4)$$

من ثم تكون التيارات الناتجة عن الفيض هي:

$$I_{\phi 2} = (K)\ d\phi_2/dt = (K)\ \phi_{2M} \cos \omega t \qquad (3\text{-}5)$$

$$I_{\phi 1} = K\ d\phi_1/dt = K\ \phi_{1M} \cos (\omega t + \alpha) \qquad (3\text{-}6)$$

بذلك تكون القوة المؤثرة F علي القرص المتحرك الحر كما تظهر من هذا التحليل عبارة عن القوتان F_1 و F_2 وهما ما يأخذان الشكل:



الشكل رقم 3-7 : المتمم ذو القطب المظلل

$$F_1 = (K)\ \phi_1\ I_{\phi 2} \quad \& \quad F_2 = (K)\ \phi_2\ I_{\phi 1} \qquad (3\text{-}7)$$

تكون محصلة القوىF المؤثرة علي حركة القرص هي:

$$\text{Net force} = F = K\,(F_1 - F_2) = K\,\phi_1\,\phi_2\,\sin\alpha \qquad (3\text{-}8)$$

يشمل هذا النوع كلا من:

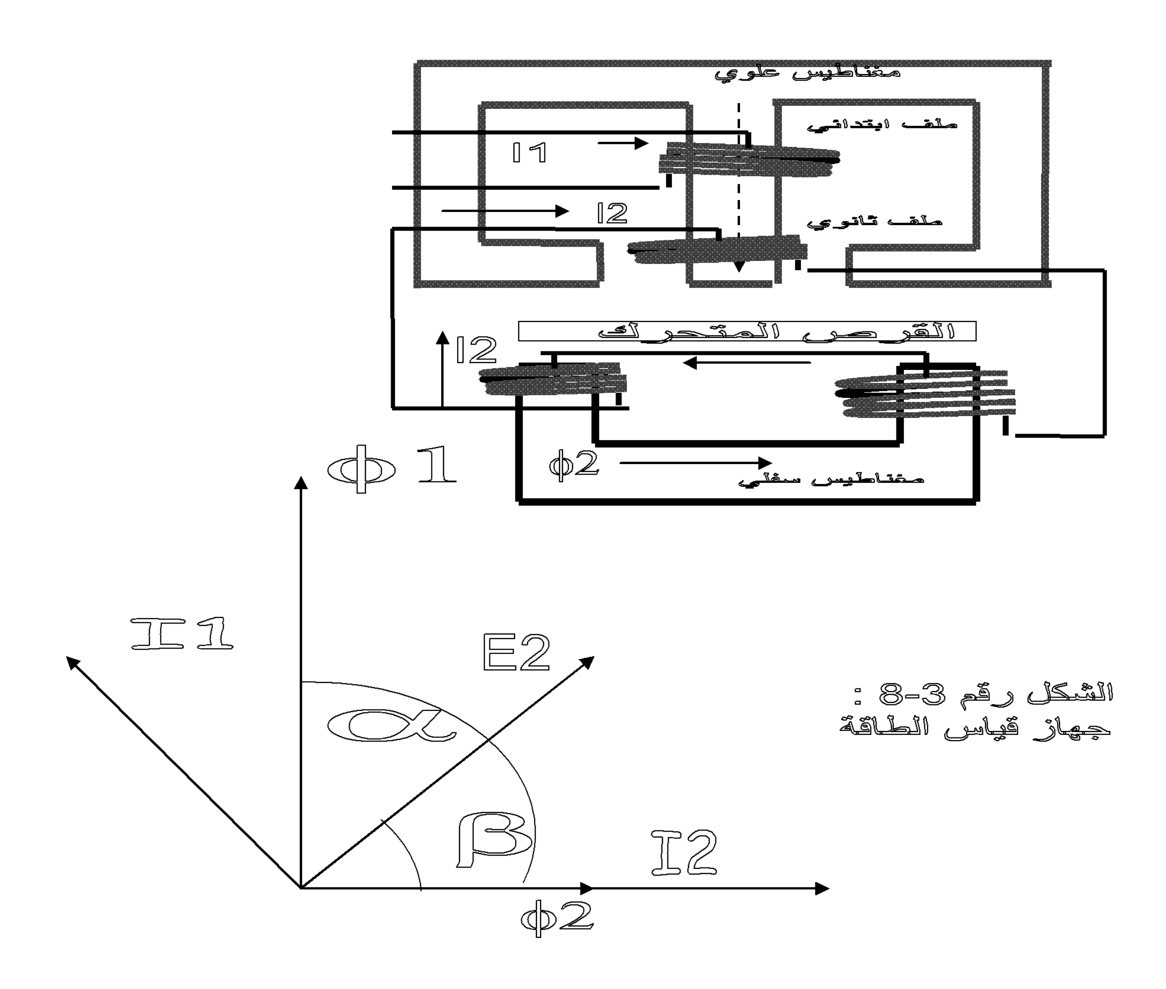
1- البناء القطبي المظلل Shaded Pole Structure

حيث يعتمد علي المتجهات كما نراها في الشكل 3-7 والتي تتعامل معا لتعطي الحركة الدائرية المطلوبة والتي تؤثر في مشوار الحركة ويكون العزم T الناتج هو

$$T = (\text{constant})\, I^2 \sin\alpha \;=\; k\, I^2 \qquad (3\text{-}9)$$

حيث أن العزم مبدئيا يتم التعبير عنه في الصورة الحسابية:

(3-10)　العزم = ثابت × الجهد× التيار× جتا الزاوية (زاوية بين الجهد والتيار– الزاوية الداخلية للمتمم)

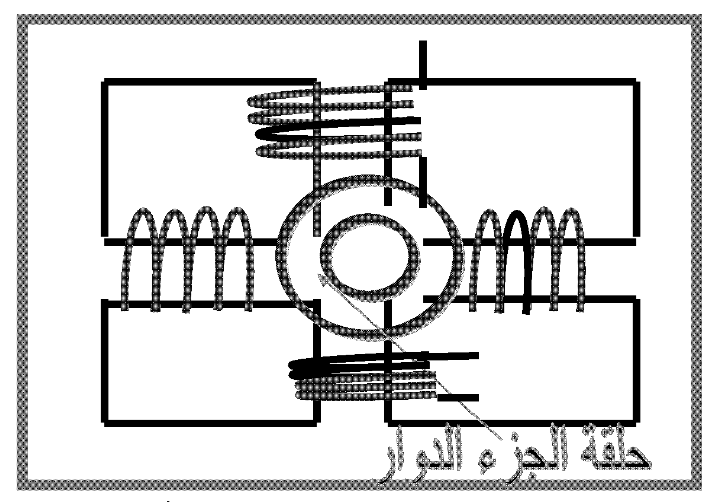


الشكل رقم 3-8 :
جهاز قياس الطاقة

نجد التأثير الشديد لزيادة التيار علي ناتج الحركة المؤثرة علي القرص الدوار في المتمم وبالتالي الحصول علي تأثير فعال لتواجد التيار المراد عزله بسرعة.

2- مقياس الطاقة Watt Hour Meter

ذلك المقياس هو ما يعرف في مجال القياس الكهربائي بالبناء ذو الملفات المزدوجة double winding structure وهو ذات الجهاز المستخدم لقياس الاستهلاك الكهربائي في المنازل والمصانع ويعتمد أساسا علي الفرق في الزاوية بين مجالين مؤثرين علي قرص حر الحركة باستخدام قطب منقسم إلي نصفين ويوضع علي أحدهما ملفات تعطي فيضا غير الأصلي وبذلك يظهر فرق في الزاوية بين الفيضين فنحصل علي عزم مؤثر علي القرص يؤدي إلي الحركة (شكل رقم 3-8) وهو الطراز المستخدم في عدادات الطاقة الكهربائية ولذلك يأخذ نفس الاسم في الكثير من الحالات.



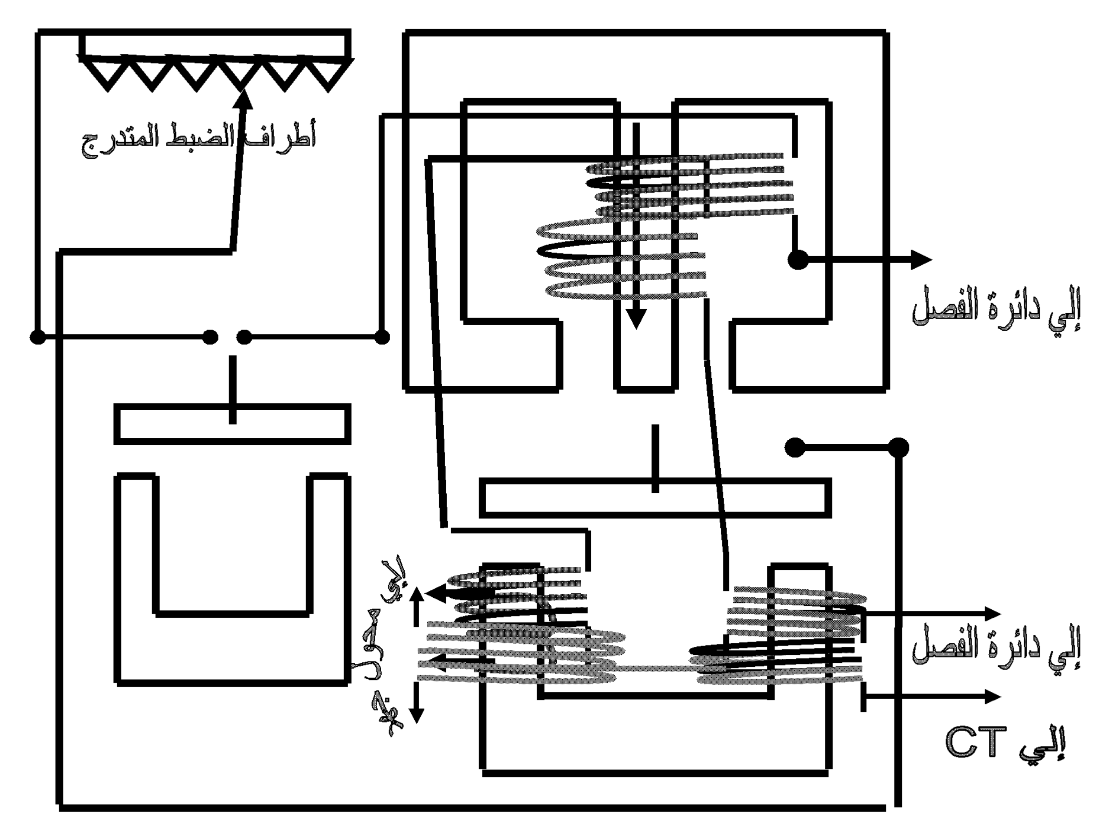
شكل 3-9: منظر عام للمتمم الأسطواني

3- البناء الطبقي التأثيري
Induction Cup Structure

يعتبر هذا النوع من النوع المتزن حيث يظهر فيه أربعة أقطاب حول اسطوانة متحركة ولذلك يسمى أيضا باسم البناء الأسطواني cylinder structure ويأخذ الملفات حول الأقطاب الداخلية كما في الشكل 3-9 بينما تعتمد نظرية دخول النوع المتجه من المتممات لتتصل علي التوالي مع المتمم بالهدف الأصلي ولا تغلق الدائرة إلا إذا عملت الشريحتان الأسطوانيتان كما نراها بالشكل رقم 3-10 وهو من النوعيات المنتشرة وواسعة التطبيقات والتي تتواجد في كافة المجالات لما تتمتع به من صفات تمييز عالية الدقة ويمكن أيضا التدخل في ضبط قيمة التشغيل له ويكون في هذه الحالة معامل الضبط مساويا للنسبة بين التيارين طبقا للمعادلة الرياضية المحددة لذلك حيث تعتمد عملية تحديد تشغيل متمم الاتجاه علي نقطتين:

أ) الزاوية بين كلا من التيار والجهد وهي التي تعبر عن معامل القدرة
ب) زاوية قياسية مرجعية reference لتحديد الاتجاه المعاكس سواء للتيار أو القدرة أو غيرهما من القيمة تحت القياس كمرجع لها ويظهر ذلك من خلال المعادلة

إن الزاوية الداخلية هي المقابلة لأقصى عزم علي قرص الحركة داخل المتمم، ولذا نجد أن ملفي الحث والموصلين علي محولي الجهد والتيار معبرين عن الناحية المرجعية للاتجاه وتدخل في الدائرة الكهربائية تأثيرا علي التوالي، ومن ثم لابد من تواجد شرط الاتجاه مع القيمة المنوطة بالفصل، كما يمكن أن يستخدم متمم الاتجاه مع كلا من الزيادة في التيار أو القدرة في وقت واحد أو أيضا مع تيار التسرب إلي الأرض **earth leakage** مما قد يكون كهربائيا مثل التوصيل علي التوالي كي يضمن توافر الشرطين من الوقاية في آن واحد عند عمليات الفصل التلقائي.
من الضروري التنويه عن أنه يتم الاعتماد علي محولات تيار بطرق مختلفة التوصيل سواء كان ذلك عن طريق وجه واحد **single phase** أو أثنين بينما محولات الجهد عادة تكون بمصهر علي كلا من ملفيه الابتدائي والثانوي، وجدير بالتنويه عن إمكانية استخدامه مع المتممات الاستاتيكية **static** أو الرقمية **digital** ويدخل أيضا في دوائر الوقاية بأجهزة الحاسوب الآلي **computerized schemes**.
هنا يجب ان نلاحظ أن التصرف الزمني للمتمم يعتمد علي المتغيرات المختلفة ونجد بذلك أن الشكل رقم 3-11 حيث يبين التصرف الزمني للمتمم **Time performance** هذا مع أوضاع الضبط المختلفة والتي تتبع وضع التوصيل علي المتدرج **plunger** والموضح بالشكل 3-10 وهو ما يعطي الفرصة لظهور معامل الضبط الوضع والمعروف باسم أطراف الضبط المتدرج **Plug Setting Multiplier** والذي يختصر إلي **(PSM)** ويأخذ الشكل الرياضي:

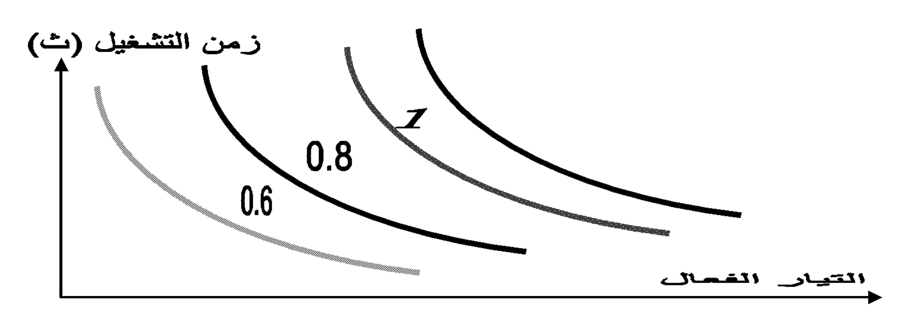


الشكل رقم 3-10 : متمم زيادة التيار مع الاتجاه

$$PSM = \frac{\text{primary current } (I_p)}{\text{primary current setting}}$$

$$PSM = \frac{\text{primary current}}{(\text{Relay current setting} \times \text{ CT Ratio})} \quad (3\text{-}11)$$

بالرغم من أن هذه المتممات قد أدت الواجب طوال الفترات الماضية إلا أنه بظهور المتممات الإستاتيكية (الحديثة عند بدء إستخدامها والتي تقادمت اليوم مع مرور الزمن وظهور ما هو أحدث) قد بات الاعتماد علي تلك المتممات الديناميكية عقيما وإضافة إلي ذلك يبين الجدول رقم 3-2 المزايا التي تتفوق بها المتممات الإستاتيكية علي تلك الديناميكية والتي تعطي الأمل في مزيد من التطور في هذا الميدان مع المستقبل القريب من جهة استحداث الأفضل والأكثر دقة في الأداء. ومن الضروري التنويه إلي أن المتممات الاستاتيكية منها طرازين هما ذلك الذي يعتمد في تكوينه وتشغيله علي خواص الثيريثتور أو بدونه وهو ما يعني الاعتماد علي الترانزيستور ولذلك قد فصل الجدول هذين الطرازين كل علي حدة عند المقارنة وهو ما يؤكد علي تقليل قيمة الاستهلاك عند استخدام المتممات الاستاتيكية.



الشكل رقم 3- 11:خواص التشغيل الزمني لضبط المتمم

الجدول رقم 3-2 : مقارنة بين المتممات الديناميكية والاستاتيكية المعتمدة علي االثيريثتور

الإعتماد علي الثيرثتور		متممات ديناميكية	الحالة
تعتمد	لا تعتمد		
100	10	30	استهلاك الفصل (وات)
500	1000	30	قدرة مكتسبة (وات)
50	20	10000	زمن فصل(ميكرو ثانية)
غير محددة		كبيرة	قدرة التشغيل
- 20 حتى 100		- 5 حتى 70	درجة الحرارة المناسبة (ْم)
1	1	5	التيار المقنن (أ)
20	10	3000 – 1000	قدرة الدخل (ميلي وات)
صعب		بسيط	الاختبار
لا يتأثر		يتأثر	تأثير التلوث
لا تأثير		تتأثر محاور الحركة	تأثير الاهتزازات

ثانيا: نوعية الحركة Attraction Type

يأخذ الجزء المتحرك من المتمم أشكالا مختلفة بناء علي بعض الأسس الأولية كما هو مبين في الشكل رقم 3- 12 وهي مثل تلك التالية إلي جانب البعض الآخر والمستنتج منهم (إلي أشكالا وأنماطا مستحدثة بصورة دائمة):

1- الحديد المتحرك بالقطبية Polarized Moving Iron

حيث يتحرك الذراع الحديدي نتيجة تولد المغناطيسية في القطب الحديدي أمامه نتيجة مرور التيار في الملف الكهربائي وتكون شدة العزم هي القوة المؤثرة والمحددة لمشوار الحركة كما ظهرت من المعادلات السابقة بالنسبة للقرص الدوار كما نراه في الحالة (أ) من الشكل رقم 3 - 12.

2- الذراع المتزن Balanced Beam

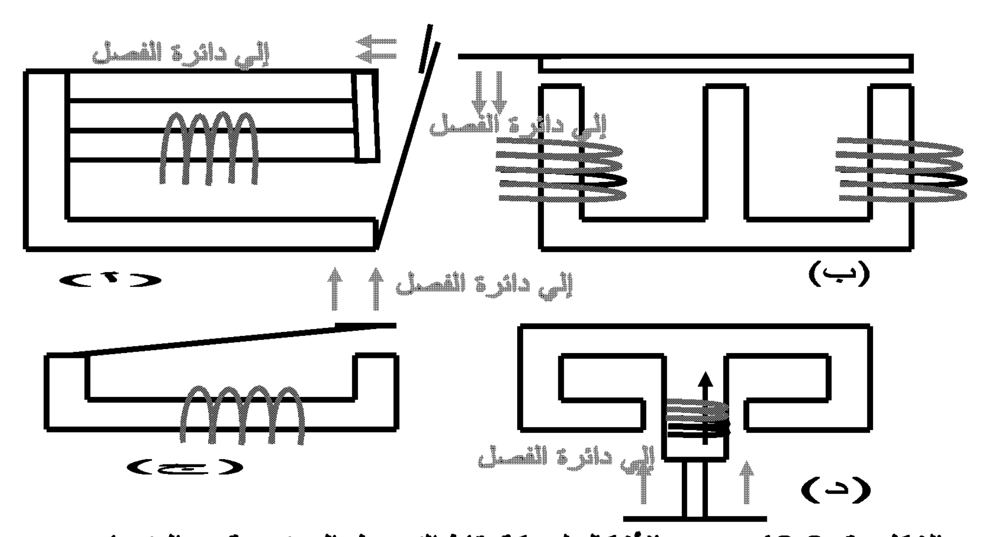
هو الذراع الأعلى الذي يرتكز علي المنتصف (مثل ذلك المستخدم في الموازين عموما) ويتأثر بكل من التيارين في الملفين علي جانبي المغناطيس الكهربائي أسفله ويجب أن يكون متزنا في الأوضاع السليمة في حالات التشغيل وينجذب إلي الناحية ذات التيار الأكبر في حالة عدم الاتزان كما في الشكل رقم 3 - 12 (ب).

3- الحديد المتحرك حول محور Hinged Moving Iron

فيه ينجذب الذراع المتحرك طرفيا نحو الطرف الآخر من المغناطيس الكهربائي نتيجة مرور التيار في الملف المركب عليه وهو إما أن يأتي من محول تيار أو جهد حسب الأحوال كما موضح في الشكل رقم 3 – 12 (ج).

4- الجزء الممغنط Plunger Type

يختلف هذا النوع عن السابقين في كون الجزء المتحرك يكون بداخل المغناطيس الكهربائي ذاته ويعتمد علي قوة اللقط من المجال الناتج عند مرور التيار في الملف (الشكل رقم 3 – 12 (د)).



الشكل رقم 3-12 : بعض الأشكال لحركة نقاط التوصيل المستخدمة مع المتممات

5- القرص المتحرك دائريا Rotating Disc

هو أكثرهم انتشارا وهو نفس النوع الذي سبق في السطور السابقة الحديث عنها وقد ظهرت في كل الأشكال حيث تتأثر بالعزم علي محور الحركة وبالتالي تعطي الفرصة لإيجاد مستويات ضبط للقيم المختلفة من العزم (الشكل 3-6) وقد تم الشرح لهذا النوع مع بعضا من التطبيقات الفعلية في البند السابق.

ثالثا: الصيانة والاختبار Maintenance & Testing

تعتبر أعمال الصيانة دعامة جوهرية من أسس العمل في جميع التخصصات الهندسية وهي ما تمثل الكفاءة الإنتاجية سواء من جهة الإنتاج أو من جهة العاملين علي العمل ولذلك تهتم الدوائر الميدانية في الأعمال الهندسية علي مبدأ الصيانة وما يتلازم معه من أعمال اختبارات خصوصا في دوائر الوقاية بالشبكات الكهربائية الموحدة حيث تحتاج هذه النظم إلي الدقة والتدقيق عند الاستخدام أو الاستعانة بها في دوائر الوقاية لحماية الشبكات الكهربائية عموما، كما توضع الاختبارات المتنوعة في تقسيم مباشر من منطلق الأداء الهندسي وهي:

1- اختبارات المصنع Factory Tests

هي الإختبارات التي تتم علي المعدة أثناء وبعد مراحل التصنيع المختلفة وفي النهاية للتأكد من جودة المنتج.

2- اختبارات الاستلام Commercial Tests

هي الاختبارات التي تتم عند تسليم المتممات ودوائر الوقاية علي وجه العموم من المصنع إلي شركات الكهرباء.

3- اختبارات الصيانة Repair Tests

تمثل الاختبارات اللازمة للتأكد من سلامة تشغيل المتمم ودائرته بعد إجراء الصيانة وبصفة دورية أو استثنائية لضمان سلامة أداء المتمم عند حدوث القصر.

بالتالي يلزم الالتزام بالصيانة المحددة وإجراء الاختبارات المقررة وفي المواعيد الزمنية تبعا للجداول التخطيطية لهذا العمل خصوصا وأنه من النتائج الإحصائية نجد النسب المتفاوتة في حدوث الأعطال علي أجزاء الشبكة الكهربائية والتي ترتبط بأعمال الصيانة في أجهزة الوقاية ودوائرها كما جدولت في الجدول رقم 3-3 علي سبيل المثال.

تعطي الصيانة الفرصة الآمنة لتشغيل منظومة الوقاية ككل وبالمراجعة المستمرة نتأكد من سلامة كل متمم ومكوناته وبالتالي بمحتويات كل دائرة وقاية وأخيرا بالتبعية نضمن أداء صحيح لكل منظومة الوقاية علي الشبكة الكهربائية وهذا كله يتحقق من خلال أعمال الصيانة بنوعيها الدوري والجسيم، أما الاختبارات فهي الحارس العلمي والفني علي سلامة المعدة خصوصا بعد إجراء الصيانة عليها. إضافة إلي ذلك نجد أنأعمال الصيانة عموما تحتاج إلي بعض الأجهزة الأساسية علي الأقل حتى تمكن من إجراء الاختبارات اللازمة ويوضح الجدول رقم 3-4 بيانا بأهم الأجهزة اللازمة للصيانة.

الجدول رقم 3-3 : نسبة الأعطال في شبكة كهربائية لمدة عام واحد

الجزء	أسباب العطل	نسبة أعطال	النسبة المئوية
محطات	عوامل ميكانيكية وانهيار العزل وأعمال الصيانة	12 - 10	11.76-12.66
مولدات	تشغيل خطأ وحالات غير عادية وعيوب في دوائر الوقاية	8 – 6	7.6-7.8
محولات	انهيار العزل وعيوب في مغير الجهد ودوائر الوقاية والتحميل الزائد	12 – 10	12.66-11.76
خطوط هوائية	صواعق وجهود داخلية وعوامل طبيعية (عواصف وطيور وحيوانات)	40 – 30	39.2-38
كابلات أرضية	قطع أثناء العمل وانهيار العزل والوصلات	10 – 8	9.8-10.13
محولات قياس	انهيار العزل والتوصيل الخطأ وزيادة الجهد	20 – 15	19.6-19

يظهر من الجدول أنه لا بد وأن يتواجد منبع تيار كي يتم بثه في الدائرة سواء الدائرة الابتدائية أو تلك الثانوية للتأكد من التشغيل السليم للمتمم عند نفس الظروف إذا ما حدث خطأ ويتم ذلك في معمل موقعي وبصفة دورية للتأكد بانتظام وبصفة دورية من سلامة المنظومة ككل حفاظا علي الأجهزة والمعدات العاملة بالشبكة الكهربائية من جهة وكذلك علي العاملين والمتعاملين معها من الناحية الأخري.

رابعا: المتطلبات العامة في المتمم

المتممات بأنواعها المتباينة من ديناميكية أو إستاتيكية يجب أن يتوافر فيها بعض العناصر الهامة مثل:

1- أن يحقق وظيفته في فصل الأعطال التي وضع من اجلها وليس أية أعطال أخرى
2 –أن يكون له مواصفات مناسبة لمواصفات البلد المراد تركيبه فيها
3- أن يكون له المناعة ضد الحالات العابرة (الإنتقالية) مثل الزيادة المفاجأة في التيار والتوافقيات ....)
4 - أن يكون له مخطط كهربائي (مرفقا مع الجهاز) للتوصيلات الداخلية والخارجية من أجل سهولة إجراء الاختبارات وكشف الأعطال
5- أن يكون تركيبه مناسبا وبسيطا.
6- أن يتحمل الظروف غير الطبيعية (زيادة الحرارة والرطوبة والتآكل الزمني والظروف الجوية والاهتزازات والصدمات الميكانيكية)
7-الوثوقيه (reliability)

يعتبر ضغط تلامس الملامس أهم هدف في تركيب المتممات حيث أن المرحل يبقى على الأقل % 99.99 من حياته في حالة ثابتة تبعا للإحصائيات الدولية ولذلك نعتبر أن تلف الملامس الخاص بالمتمم حالة من الحالات الخطيرة.

خامسا: خصائص المتممات الزمنية Timers

تمثل النوعيات المختلفة من المتممات الزمنية تباينا واسعا في الأداء والمهام كما سبق شرح أسس فلسفة أداء هذه المرحلات ونري في الشكل رقم 3-13 بعضا من أهم الخصائص الفنية لهذه النوعيات time multiplier حيث يمكننا التحكم في الزمن المحدد للفصل التلقائي سواء بالقيمة مباشرة أو بتعديلها تبعا لنوع ومكان القصر أو العيب. حيث أن هذه الخصائص حقيقية فيمكن استخدامها في تحليل الأعطال أو في حل الكثير من المسائل المتعلقة بالوقاية والمتممات في الشبكات الكهربائية بشكل عام، ومن ثم تم عرض عدة أنواع منها كمجموعات في كل واحدة للتأكيد علي أهمية هذه النوعية من المتممات الزمنية وكلها توضح بجلاء أهمية هذه المتممات والتعرف علي خصائصها بشكل عميق ودقيق.
إذا نظرنا إلي هذه المتممات الأولية والتي بدأ بها العمل منذ القدم فنجد لها من المزايا التي تجعلها غير قابلة للإنقراض، علي الرغم من أنها قد تقل تواجدا نسبة إلي تلك الحديثة والأكفأ والأسرع وذلك يرجع إلي إنخفاض سعرها من جهة وكفاءة أدائها أحيانا من الناحية الأخري. لهذا السبب ورد في الجدول رقم 3-5 بيانا موجزا للمقارنة بين فصائل هذه المتممات نسبة إلي تلك الحديثة والتي تعتمد بالدرجة الأولي علي الدوائر الكهربائية والإلكترونية وثوابتها مما يؤكد علي أن هذه المتممات دائمة التواجد والعمل في الميدان ولا سبيل إلي التخلص النهائي من تواجدها حيث تم التقييم بالدرجات بناء علي أساس موحد وهو النظام المعروف بنظام الوحدة (*Per Unit System*). علينا توضيح أن هذا النظام يعادل ذلك النظام الذي يعرف أحيانا باسم النظام المئوي، وذلك يعطي الفرصة للموازنة بين النوعيات عند الحاجة إلي التركيب الجديد أو الإحلال.

نستطيع أن نتعرف بقرب علي المتممات (المرحلات) هذه بأن نضع المواصفات الفنية لأحدهم كما هي موضحة بالجدول رقم 3-6 حيث نجد أن الصفات التقنية للمتمم تحقق الهدف المنشود من المتمم، كما أنه يتحدد غرض معين من المتمم بالرغم من أن المتمم الذي ندرسه هذا يتمتع بالقدرة علي أداء أي من الأعمال الهامة مثل الإنذار والتنبيه Alarm System أو التشغيل التلقائي Automatic device وغيرها من التطبيقات الكهربائية electrical appliances.
هذا الجدول يقودنا إلي أن المتممات الكهروستاتيكية والكهروديناميكية مازالت قابعة في الميدان لأن خصائصها الفنية الأساسية المبينه هنا تؤكد صلاحيتهم للعمل الجيد وبدقة عالية، إضافة إلي أن التطبيق العملي في كافة أرجاء العالم يؤكد علي هذا فالعمر طويل والكفاءة عالية ومجال الاستخدام واسع من حيث درجة حرارة المحيط والوسط.

الجدول رقم 3-4: الأجهزة الأساسية اللازمة لأعمال الاختبارات علي المتممات ودوائر الوقاية

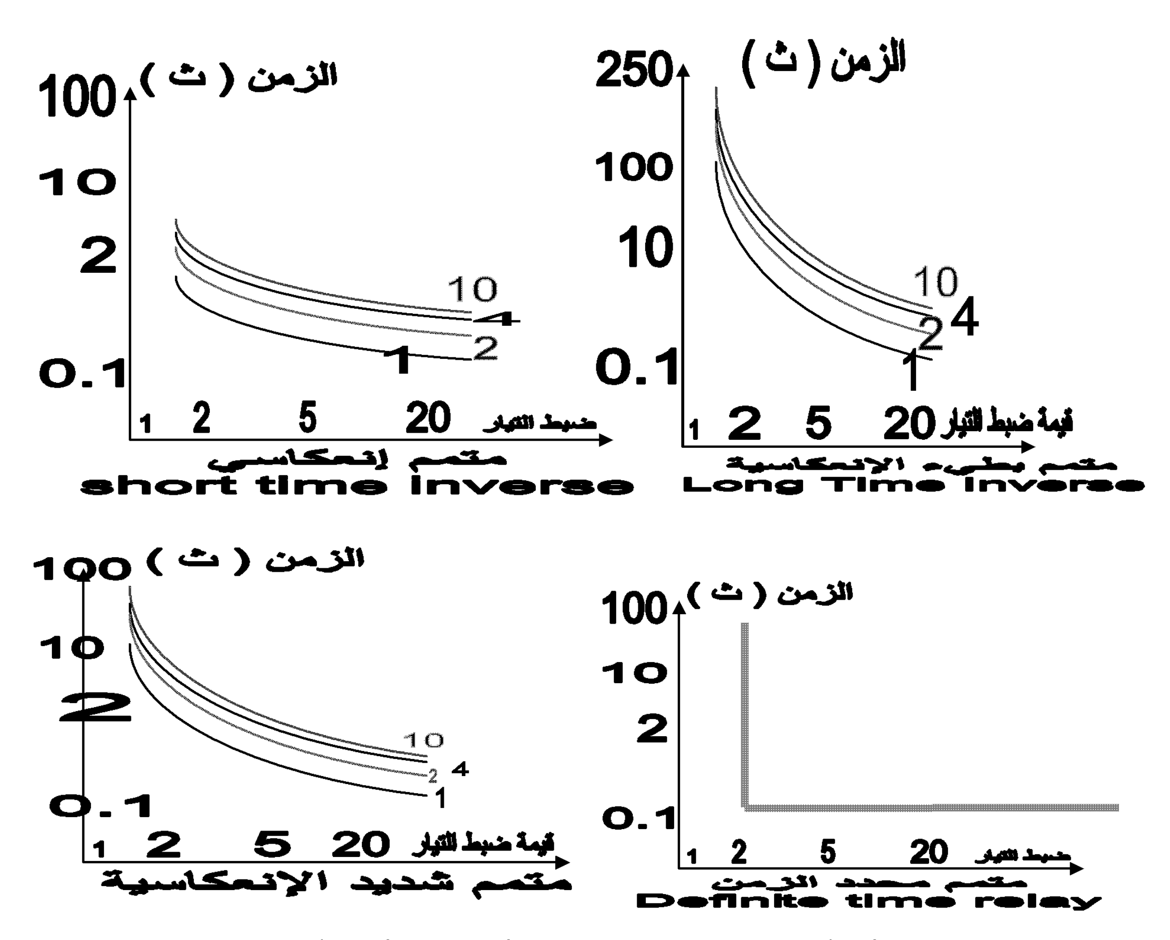
م	بيان الجهاز	عدد
1	جهاز بث التيار الإبتدائي (primary current injection) وحيد الوجه 220 فولت بتيارات خروج متعددة (15 أ – 220 ف) / (من صفر حتى 4 ف لتيارات 500 و 19000 و 2000) أو (50 أ – 10 ف)	1
2	محول ذاتي متغير الجهد حتى 120 ف – 5 أ و 18 أ	4
3	جهاز بث تيار ثانوي (secondary current injection) مفرد الوجه 220ف بخروج متعدد (15 أ–220 ف)/(من 0 - 4 ف لتيارات 25أ – 20 ف و 12.5 أ –40 ف و1.5 أ –150 ف) أو (50 أ–10 ف)	1
4	مجموعة أجهزة قياس فولت متر وأمبير متر مختلفة المدي	1
5	محولات تيار مساعدة مختلفة المقننات	1
6	مقاومات غير حثية 110 ف	8
7	مبين اتجاه تيارات المركبات الكهربائية phase sequence indicator	1
8	مغير الزاوية - 3 طور – 500 وات	1
9	جهاز قياس الزاوية 10 أ – 115/55/15 ف	1
10	مزمن timer من صفر إلي 10 ثانية	1

الجدول رقم 3-5: مقارنة المتممات الكهرومغناطيسية والاستاتيكية منسوبا بنظام الوحدة

الصفة	الكهرومغناطيسية				الإستاتيكية			
	Attracted armature	Induction disk	Induction cup	Thermal	electronic	transistor	rectifier bridge	Magnetic amplifier
التكاليف	5	7	4	8	1	2	3	6
الدقة	2	3	5	1	8	7	6	4
السرعة	5	2	4	1	8	7	6	3
جودة الخرج	1	4	3	2	7	6	8	5
الحساسية	4	2	3	1	8	7	6	5
الاستقرار	1	4	2	3	6	7	8	5
المتانة	5	4	6	3	1	7	2	8
البساطة	8	6	5	7	2	1	4	3
التجربة	6	8	7	5	2	1	4	3
المجموع	37	40	39	31	43	45	47	42

الجدول رقم 3-6: المواصفات الفنية لأحد المتممات

الصفة	القيمة المقننة	الصفة	القيمة المقننة
استهلاك ملفW	0.45- 0.36	مقاومة تلامس	100 m Ω
جهد ملف VDC	3 - 48	مقاومة عزل	100 M Ω
مقنن تيار أ / جهد ف(24DC / 240AC)	6 / 3 10 / 5	Operate / Release time	10 / 4ms
شدة عزل بين الملف والملمس	1500VAC		
شدة عزل بين الملمسات	750VAC	مدي حرارة	-40/+70°م
عمر كهربي (cycles)	100,000	عمر ميكانيكي	10,000,000



الشكل رقم 3-13: خصائص المتممات الزمنية

المتممات الساكنة
Static Relays

أنه من الطبيعي أن تتطور العلوم وتنشأ الإبتكارات والبحوث علي مر الزمن وعادة تكون هذه الإبتكارات مفاجأة بينما نشاهد مؤخرا أن كل البحوث العلمية قد أصبحت ممنجهة وتسير بسرعة. أيضا أضحي لنا جميعا أن معدل التطور يتزايد يوما بعد يوم ومن ثم نري كل يوم حدثا جديدا وقد لحق هذا العمل جميع المجالات بينما لحق بالمجال الإلكتروني وبعده المجال الرقمي مما ساعد بدرجة كبيرة في مجال العديد من التخصصات ومنها مجال الوقاية التلقائية.

من الهام الإشارة إلي أنه قد ظهرت المتممات الساكنة في النصف الثاني من القرن الماضي نتيجة للتقدم التكنولوجي في تصنيع الدوائر الإلكترونية وأجزائها، وبعد ذلك انتشرت المرحلات الساكنة علي نطاق واسع في كافة المجالات التطبيقية والتنفيذية بل والدقيقة والخطيرة أيضا وذلكنظرا لكفاءة أداء هذه المتممات والنتائج المتتالية في كل التطبيقات علي أرض الواقع. جدير بالذكر أنه قد لحق بعملية وقاية الشبكات الكهربائية أو معداتها أو الأجهزة الكهربائية عموما العديد من التطور،

وهو ما سوف نفتح له هذا الفصل حيث نتطرق إلي المبادئ الأساسية التي تحكم عمل هذه الدوائر والتي تداخلت في بداية الأمر لتعمل جنبا إلي جنب مع المتممات الديناميكية. يزيد من أهمية هذا الموضوع أنها أصبحت بديلا رائعا لها عند اللزوم، ولهذا وقع عبء التطوير والإحلال عليها وأصبحت من الأدوات الجوهرية في أداء دوائر الوقاية أو نظمها علي وجه الإطلاق.

4-1: الخصائص الفنية Technical Specifications

تتمتع هذه المتممات relays بما تعكسه من تصرفات علي بقية الأجزاء elements في الدوائر الكهربائية circuits بالعديد من الصفات الجوهرية basic characteristics والهامة حيث أن هذه الخصائص التي تتميز بها المتممات الساكنة نضعها في نقاط محددة وموجزة من أجل التوضيح بصورة سهلة علي النحو التالي:

أولا: مميزات المتممات الإستاتيكية (الساكنة) Advantages

من أهم الصفات المميزة لهذه النوعية من المتممات الساكنة ما يمكن أن نحدده بصورة سريعة في ما يلي:

1- السرعة الفائقة في الأداء High Speed

نظرا للتحول من النظام الميكانيكي إلي الكهربائي أي من الميكانيزم إلي الدوائر الإلكترونية، حيث يصبح الثابت الزمني Time Constant للدائرة الكهربائية هو الأساس بدلا من الثابت الزمني Time Constant للحركة الميكانيكية. هذا المبدأ هو المؤدي إلي خفض الثابت الزمني بشكل ملحوظ وهو الذي عادة ما يكون كبيرا جدا بالنسبة لمثيله في الدوائر الكهربائية أو الإلكترونية مما ساعد علي ظهور المرحلات الساكنة في مجال الوقاية الآلية. لذلك يسمح المتمم الإستاتيكي بالزمن التنفيذي الصغير أو متناهي الصغر تبعا للقيم الفعلية لمكونات الدائرة الكهربائية المحددة للزمن بينما علي النقيض لا تستطيع المرحلات الميكانيكية من الأداء الفعلي في زمن قصير.

2- الحساسية الشديدة High Sensitivity

تظهر الحساسية كمعاملا هاما للقيمة الفعالة المنوط بها تحديدا في أعمال الوقاية بل ومع إمكانية تكبير قيمتها إلي الحدود التي نستطيع معها العمل بيسر وسهولة وتحديد القيمة بدقة بالغة. إن ذلك يرجع إلي الإعتماد علي الدوائر الكهربائية التي تعمل بمكونات كهربائية بدلا من تلك الكهروديناميكية والتي كانت تتعرض بدون شك إلي العوامل الخارجية المؤثرة في أدائها. هذا أنه بالميكانيزم الميكانيكي المتواجد قد نتحول عن الدقة المطلوبة في الأداء من جهة بجانب القيمة ذاتها ومدي تباينها عن المرجع كقيمة من جهة أخري.

3- لا أعمال الصيانة No Maintenance

جدير بالذكر أن الدوائر الكهربائية أو الدوائر الإلكترونية تحديدا لا تواجه أعطالا بالمقارنة مع تلك النظم الميكانيكية أو نصف آلية العمل، ومن ثم نجد أن هذه الدوائر ذات صفة جوهرية وهي عدم الحاجة إلي إجراء الصيانة الدورية المطبقة مع النظم الميكانيكية آلية كانت أم نصف آلية.

4- لا تتأثر بالاهتزازات أو الصدمات No Shocks and Vibrations

نظرا لأن الدوائر الإلكترونية أو تلك المعروفة باسم الدوائر المتكاملة لا تتأثر عموما بالإهتزازات أو الصدمات مما ينعكس علي القدرة علي مجابهة الظروف الشاقة في العمل أو في مواجهة أماكن العمل ذات الطبيعة المجهدة والمسببة للهزات مثل أماكن الإنفجارات أو التنقيب وغيره.

5- الحجم الصغير Size Reduction

من أهم المزايا التي قد تحدث أو تبرز عند التعامل مع المتممات الساكنة عموما تأتي ظاهرة ذلك الحجم الصغير للكروت الإلكترونية المستعان بها مقارنة بتلك المتممات الديناميكية كاملة أو نصف آلية التكوين، ولهذا السبب تتفوق دائما المتممات الساكنة علي تلك الديناميكية بشكل عام.

6- أداء عالي المستوى High Performance

نتيجة للتعامل مع مكونات الدوائر الإلكترونية نجد أنه من السهل تحديد خصائص العمل والأداء بمنتهي الدقة والتي تتفوق علي غيرها من الناحية النظرية والعملية علي حد سواء.

7- تحسين معدل الأداء Improving

يكون هذا التحسين بالمقارنة مع مثيله من المتممات الديناميكية ذلك أن المتممات الديناميكية تعتمد علي منظومات حركة ميكانيكية مما يستهلك الوقت بجانب إنخفاض مستوي الدقة بينما علي النقيض نجد أن الدوائر الإلكترونية ثم بعد ذلك الرقمية قد فاقت كل حساب من ناحية معدل الأداء السليم بدقة بالغة بجانب تحديد الأعطال بشكل مبسط وسريع مما يقلل من الوقت المستهلك الذي كان يستغرقه العمل بالنظام القديم.

8- سهولة الاستبدال أو الإحلال Replacement

بالإمكان إحلال أو أستبدال المتممات الإستاتيكية محل الديناميكية قديمة الطراز دون أدني تقصير في العمل بل أنها دائما تتفوق عليها.

ثانيا: عيوب المتممات الإستاتيكية Disadvantages

بينما ظهرت عاليه مميزات المتممات الساكنة نتوجه ناحية الخلل أو النقص الذي قد يظهر حيث تنحصر العيوب في هذا النوع من المتممات في نقطتين أساسيتين هما:

1- لا تعمل بأطراف توصيل متعددة Multi Terminals Connector

نظرا لطبيعة تكوين الدوائر الإلكترونية حيث يصعب التعامل مع الأطراف المتعددة ولذلك نجد أنها قد تحتاج للطراز الديناميكي في ذلك من أجل إضافة الملمسات المتحركة لذات المرحلات الساكنة، وعلي الرغم من ذلك نتوقع التطور السريع في هذا الصدد مما يزيد من فعالية هذا النطاق الإلكتروني ليس فقط في أعمال الوقاية الكهربائية الآلية بل أيضا في مجال التحكم الآلي.

2- التداخل Interference

يحدث التداخل في بعض الأحيان مع او بين خواص أداء المتممات الديناميكية مما يدعو إلي الدراسة المستفيضة الهامة عند الإحلال والتجديد للأنواع الديناميكية من المتممات بأخري من النوع الإستاتيكي. إضافة إلي ذلك قد يظهر نفس الوضع في حالات المزج بين المتممات الديناميكية والمرحلات الإستاتيكية في ذات المنظومة الوقائية.

ثالثا: متطلبات المتممات الإستاتيكية Requirements

تتطلب هذه المتممات الساكنة غالبا الكثير من الدقة نسبة إلي تلك الديناميكية وهي بذلك تقع في:

1- ضرورة إجراء تجارب test علي جودة المنتج quality control بشكل جوهري
2- التأكد المستمر check بعد كل خطوة تصنيع طوال مشوار التصنيع
3- مطلوب الحساسية العالية التامة والكاملة للدوائر عالية السرعة high speed circuits بالقيم الفائقة أثناء حدوث الخطأ مثل الحالات الانتقالية transients
4- يلزم تجهيز منبع قدرة تيار مستمر D C supply باعتمادية مرتفعة reliability كمصدر تغذية بعيدا عن الشبكة الكهربائية.

رابعا: محاور تصميم المتممات الإستاتيكية Design

تنحصر مجالات تصميم المتممات الساكنة في محورين هما:

1- متممات منفصلة Separately وحيدة الغرض Single Purpose

هذه المتممات هي التي قد تحل مكان تلك الديناميكية أو التي قد تدخل بجوارها ليعملا سويا في وقاية معدة ما أو لاستكمال دوائر الوقاية لتصبح متكاملة الأداء مثل متممات التسرب الأرضي earth leakage أو زيادة التيار over current وغيرهما.

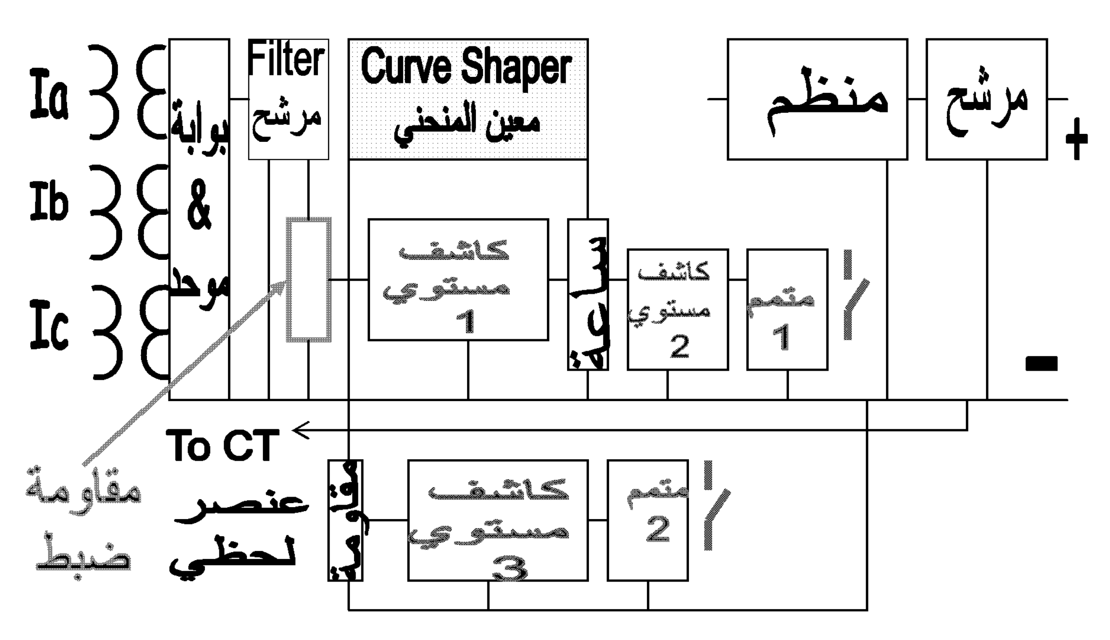
2- متممات متعددة الأداء Multifunction

تدخل هذه المتممات في دوائر متعددة الغرض أيضا، وعادة ما تكون العمليات هذه محل الأداء الدقيق متصلة الرباط معا من خلال الدوائر الكهربائية المتكاملة related functions. كما يدخل مع هذه النوعية أيضا الدوائر المنطقية logic circuits والتي تعمل مع الحاسوب الآلي microcomputer أو بدونه، وتعطي عادة مخرج وحيد common output

لكل الحالات. من الناحية الثانية نجد أنه في هذه الظروف يجب أن تشمل المنظومة كلا من وسائل الإشارة **signal** سواء للتوضيح أوالبيان **indication** أو من أجل الإنذار **alarm** وكذلك وسائل الأمر بالفصل. كما يسمح هذا التصميم بنطاق واسع من التعامل والتوصيل لأغراض مختلفة إلا أنه معقد **complex** في التصنيع أكثر من النوعية السابقة بينما يتفرع هذا النوع من المتممات إلي فرعين أساسيين نضعهما في البندين التاليين من هذا الفصل.

2-4: أسلوب التشبيه Analogue Technique

تعمل الدوائر الإلكترونية **electronic circuits** بنظام استقبال **receiving** كمية كهربائية ما وتعرف باسم القيمة الداخلة **input** وتشكلها بعد المعالجة الإلكترونية **treatment** إلي قيمة جديدة وتصبح هي الخارج منها وتعرف باسم القيمة الخارجة **output** كما هو موضح بالشكل رقم 4-1.
تتمثل الكميات الداخلة في التيار أو الجهد أو الزاوية **phase angle** بين الجهد والتيار أو بين أي من المتجهات الثنائية أو القدرة أيضا أما الكميات الخارجة فتوضع عند المعالجة مع مبدأ المقارنة **comparison base** بمرجع أساسي **reference** بدلا من قاعدة الضبط السابقة **setting** في المتممات الديناميكية وهي في المعالجة تدخل في دائرة البحث والكشف **detection** عن كميات محددة **definite** وتعتمد هذه الأعمال الكهربائية علي نظام البساطة في بعض الأحيان وعلي النظام المركب **combined system** في أحيان أخري ولمزيد من الإيضاح نضع هذا الأسلوب في ثلاث محاور هي:



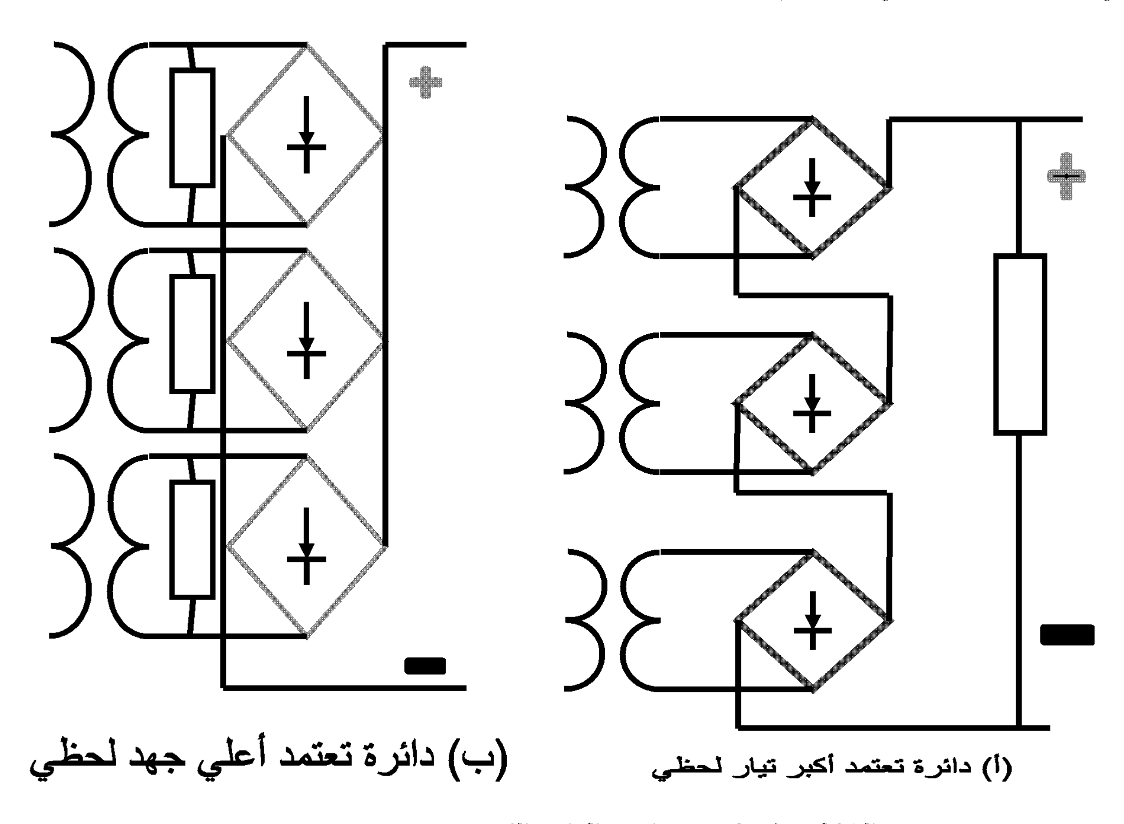
الشكل رقم 4-1 : دائرة وقاية لزيادة تيار

أولا: المحور الزمني Time

نتعرض في هذا المحور الزمني إلي نقاط مبدئية نحتاج إليها في نطاق التعامل الزمني بهذا الأسلوب وكل الأجزاء في هذا الأداء متتالية الضرورة وهي:

1- مغير نوعية التيار Converter

مغير التيار هو عبارة عن ذلك الذي يقوم بتحويل التيار المتردد إلي الثابت AC/DC converter أو العكس حيث أنه يعمل كموحد rectifier بالإضافة إلي التحويل العكسي الذي لا يستطيع عمله الموحد وهو ما يجب أن نبدأ به من القياس بغرض الوقاية حيث نحصل علي القيمة المترددة من الشبكة الكهربائية سواء كان تيارا أو جهدا من خلال محولات القياس وذلك باستخدام قناطر التوحيد rectifier bridges فتتحول إلي كميات علي النوعية الثابتة DC غير المترددة ثم يتم مقارنتها مع مستوي محدد مسبق القيمة predefined level وهو ما يعرف بالضبط setting ثم ندخل علي التوقيت الزمني اللازم في ذلك ولذلك نحتاج إلي هذا المغير لنوعية التيار في بداية كل دائرة كهربائية at input تعمل من أجل الوقاية وهو ما نراه في بداية الدائرة الواردة في الشكل رقم 4-1.



الشكل رقم 4-2: دائرة الباب الكهربي Gates

كذلك يمكن الاعتماد علي تحويل الكمية علي كل طور لتتجمع سويا مزيدا القيمة عند المقارنة باستخدام نظام البوابة الكهربائية gate (الشكل رقم 4-2)، وفي البوابة الكهربائية نحصل علي القيمة الخارجة output ثلاث أمثال تلك الحقيقية تقريبا مما يتيح لنا وضعها ككمية داخلة للدائرة الإلكترونية المخصصة لعمل الوقاية الكهربائية وتصبح هي الكمية الداخلة input ، كما نري من الشكل رقم 4-2 أن هذه البوابة توضع بنوعين حيث تكون إما لأكبر قيمة تيار highest current كما في الشكل رقم 4-2 (أ) أو لأكبر قيمة جهد highest voltage كما في الشكل رقم 4-2 (ب) ويظهر الفارق أنه في حالة التيار يقاس الجهد الخارج علي أطراف المقاومة output resistance بينما توضع هذه المقاومة علي دخول كل قنطرة لكل طور في الحالة الثانية ونحصل عندئذ علي الخروج وهو الجهد بين طرفي توصيل القناطر الثلاث output terminals.

2- التوقيت الزمني Timers

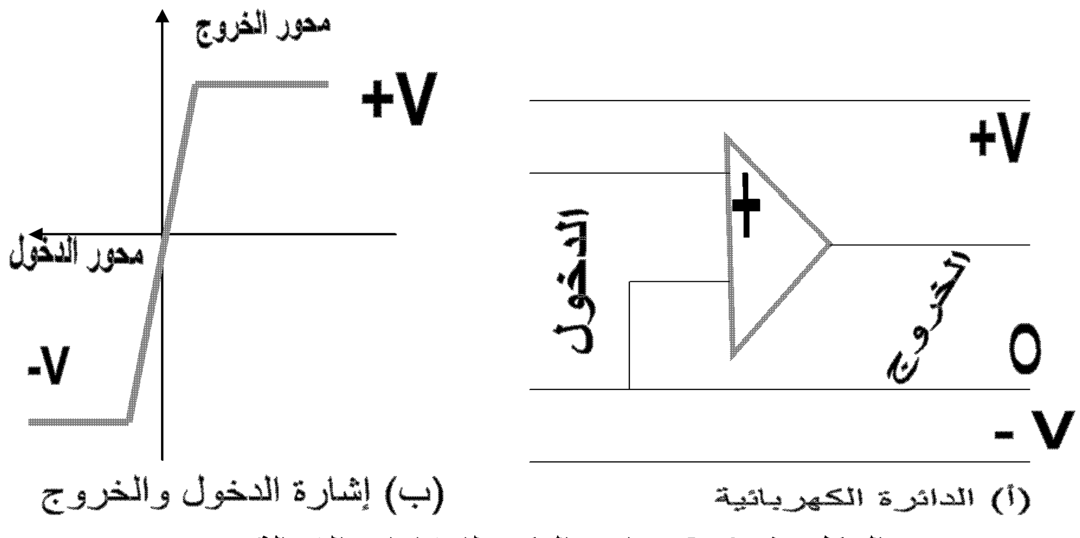
يتباين التوقيت الزمني هنا في نوعين هما إما محدد الزمن definite أو متغير الزمن varied time of tripping وهذا الأخير المتغير له أسلوبان وقد سبق الإشارة إلي ذلك ونضيف هنا نوعا ثالثا هو الزمن الفوري instantaneous وهو المتاح نتيجة الثابت الزمني الصفري عمليا في الدوائر الإلكترونية حيث لا يضاف أي زمن للعمل مع الدائرة خصوصا مع الدوائر الرقمية، وهو ما نستطيع التعرف عليه من الدائرة السابقة في الشكل رقم 4-1 وفيه يقوم الكاشف للمستوي رقم 3 (detector3). بهذا العمل الفوري بينما يقع عبء التوقيت الزمني علي الكاشف رقم 2 ومن ثم يتم شحن مكثف capacitor ليصل إلي التوقيت اللازم عند الشحن الكامل وعندئذ يتم التفريغ discharge وهكذا تصل الإشارة إلي المخرج لتعطي الأمر بالفصل التلقائي.

ثانيا: محور البحث Detection

يعتمد الكشف إلكترونيا عن القيمة ووقت حدوث الخطأ fault أو العيب في الشبكة الكهربائية في هذا النظام كما يتوقف ذلك علي كاشف أو باحث detector والذي يمثل الدقة في تحديد الضبط setting المطلوب، وهذه الصفة الأساسية للتعامل مع الدوائر الإلكترونية تصل بنا إلي تقليل معامل الخطورة الإحصائي statistic risk factor ويقلل ذلك من الفصل الخاطئ false operation وهو ما يمكن أن يتحقق من خلال ثلاث طرق كشف (بحث) مهمة أساسية هي:

1- كاشف المستوى Level Detector

يعتمد هذا الكاشف (كاشف المستوي) علي المكبرات المنطقية amplifiers والتي نراها في الشكل 4-3 حيث يعمل بنظام التحويل بين الكميات الداخلة والخارجة من خلال العلاقة input output characteristic فيعطي القيمة للجهد الخارج مباشرة فقط إذا ما وصلت إلي القيمة المرجعية والمحددة علي الشكل عندما تخرج القيمة التي تدخل عن حدود العلاقة التحويلية وتدخل منطقة التشبع saturation. كما تتميز المكبرات المثالية ideal amplifiers من هذه النوعية بخمس صفات جيدة هي:



الشكل رقم 4-3 : دائرة المكبر للإشارات الشغالة

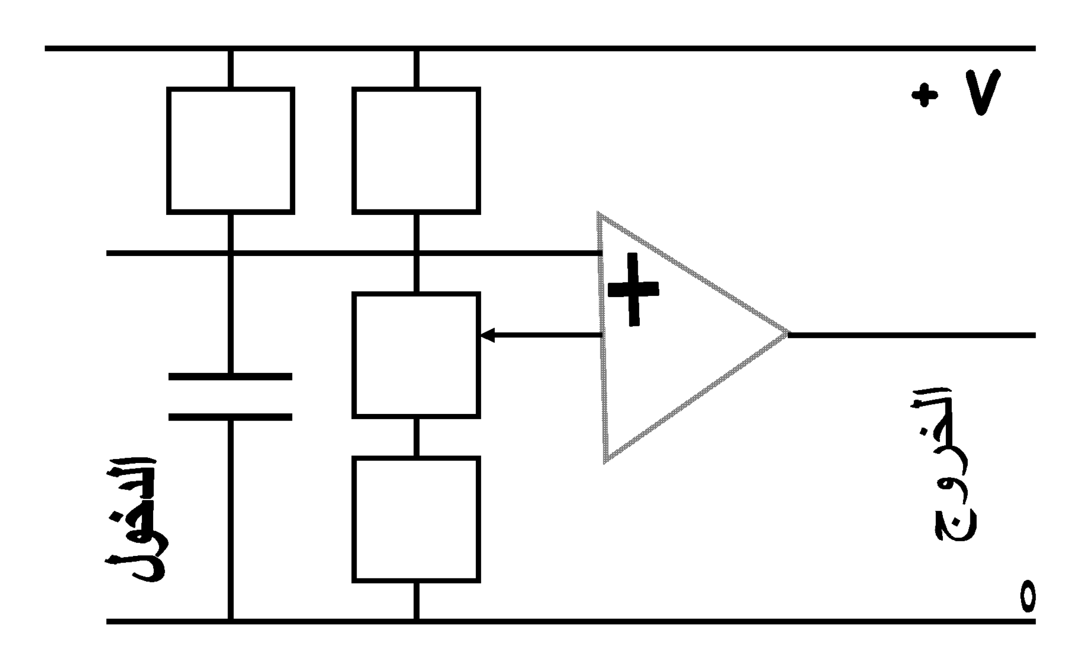
(أ) الخروج الجيد لانهائيا **infinite voltage gain**

(ب) المعوقة الداخلية للدخول اللانهائية **infinite input impedance**

(ج) المعوقة الصفرية عند الخروج **zero output impedance**

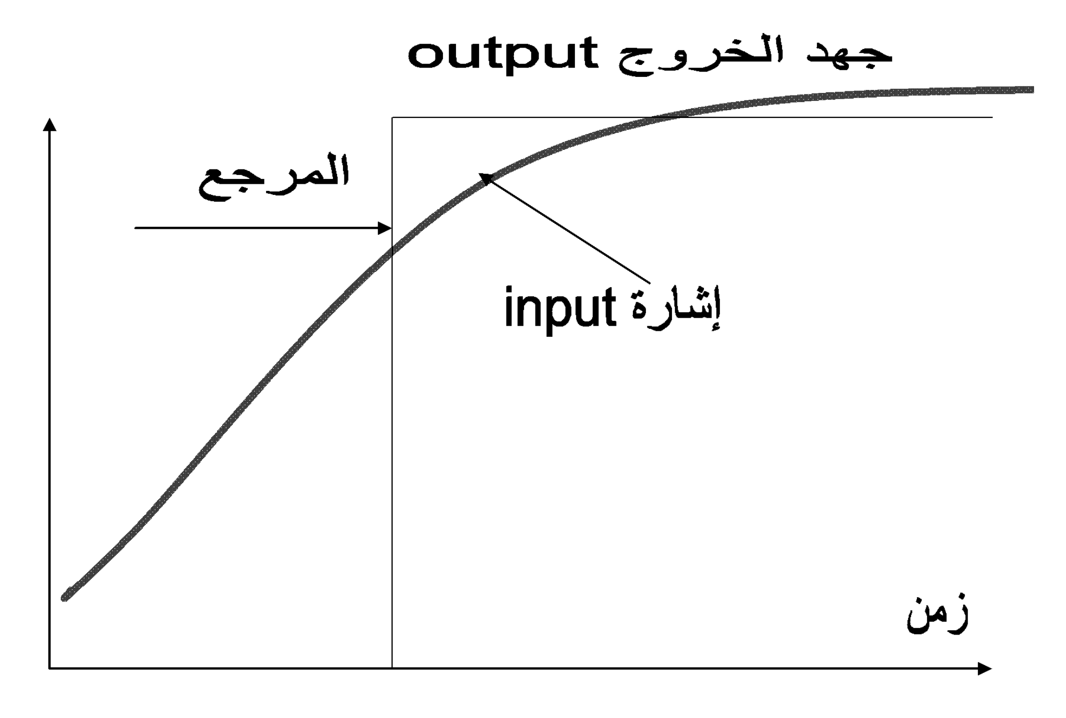
(د) يمكن استخدام هذه الدائرة بدون بردن حملي

(هـ) نستطيع إدخالها في عدد من دوائر الوقاية الرئيسية.



الشكل رقم 4-4 : دائرة
كاشف علي أساس المستوى

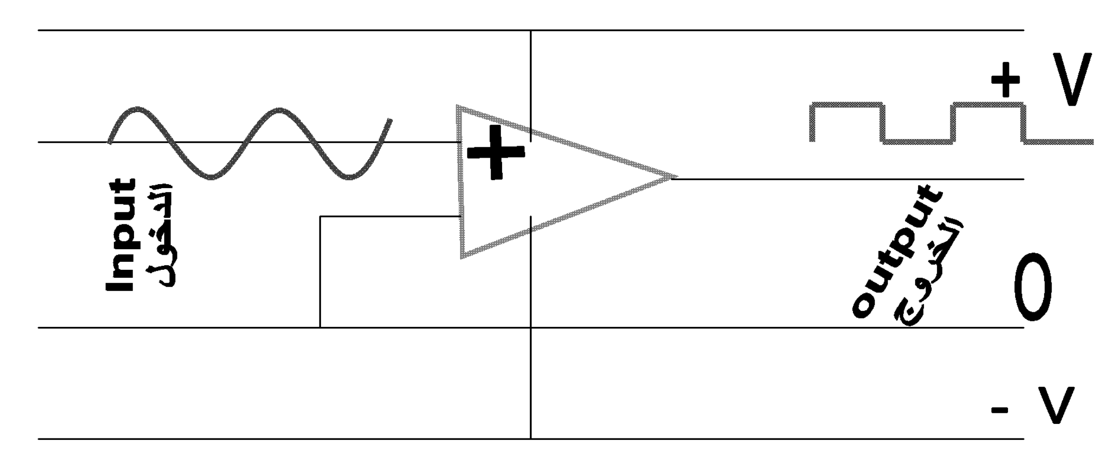
كلها صفات تتمتع بها الدوائر المنطقية فيزيد من كفاءة أدائها لهذا العمل ويميزها استهلاكها القليل للطاقة.
إضافة إلي ذلك يقوم الكاشف بالمقارنة **comparison** مع قيمة محددة مسبقا (الشكل رقم 4-4) قد تم الضبط عليها من قبل فلا يعطي قيمة خروج إلا إذا وصلت القيمة الداخلة إلي تلك المقننة كمرجع في الدائرة الكهربائية لهذا الكاشف حيث تعمل القيمة المرجعية **reference** مثل المفتاح الكهربائي **switch** فيفصل الدائرة وتصبح بلا خروج أو يغلقها وتخرج الموجة مباشرة إذا ما وصلت إلي هذا الحد ويبين هذه العلاقة البيانية الشكل الوارد رقم 4-5 حيث تظهر النقطة المرجعية عند تقاطع القيمة الداخلة للمكبر مع القيمة المرجعية المحددة.



الشكل رقم 4-5 : نقطة عمل الكاشف

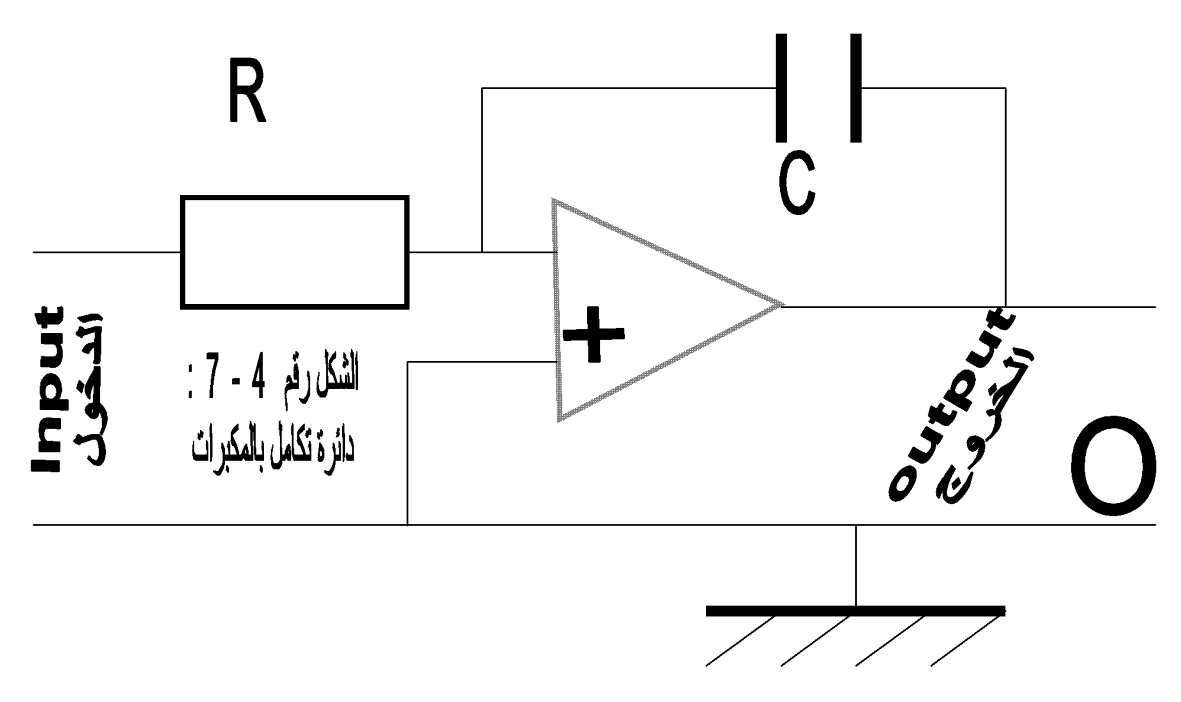
2- كاشف القطبية Polarity Detector

يتعامل هذا النوع بناء علي الشكل الموجي الخارج من المكبر كما يقدمه الشكل رقم 4-6 واضحا بالموجات الداخلة والخارجة.



الشكل رقم 4-6 : دائرة باحث بأسلوب القطبية

من الشكل 4-6 نجد أن الموجة المترددة sinusoidal wave الداخلة تتحول إلي موجة مربعة square عند الخروج أو مستطيلة أحيانا وتختفي في هذه الحالة عمليات التشوه distortion في شكل الموجة وتختفي مخاطرها علي الدقة وذلك نتيجة الخروج الذي يعتمد علي إما الحالة موجودة فتظهر القيمة أو لا توجد الحالة المطلوبة فيكون الناتج صفرا، وهنا يكون المرور الصفري معروفا بدقة تامة ولا يتأثر بنوعية أو شكل موجة الدخول خصوصا وأن شكل الموجة لا يكون جيبيا وقت القياس في الحالات الانتقالية أو أثناء القصر.



الشكل رقم 4 - 7 :
دائرة تكامل بالمكبرات

3- الكاشف التكاملي Integrator

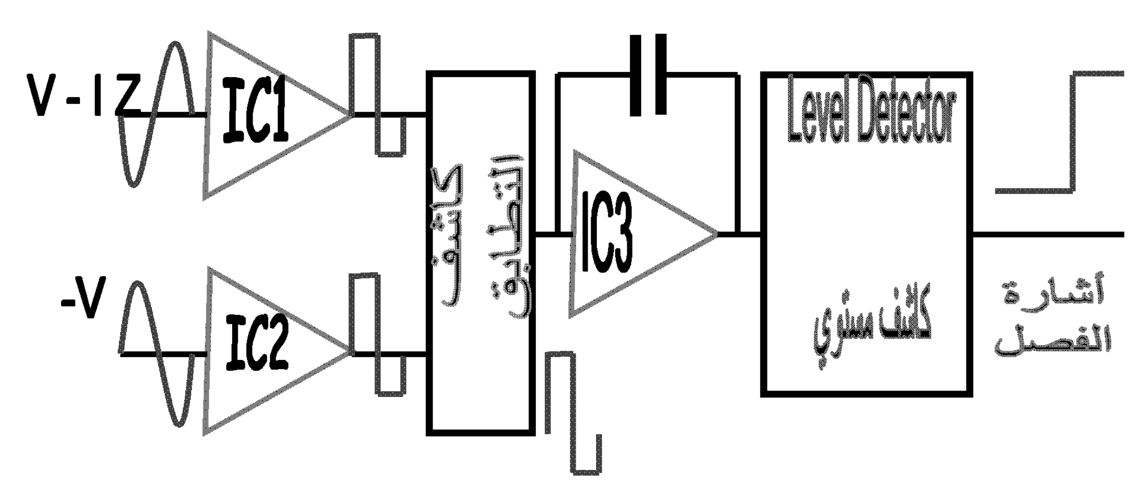
يظهر هذا الطراز من الدوائر المنطقية (الشكل رقم 4 – 7) وهو واسع الانتشار ويعتمد علي التغذية الخلفية في دائرة المكثف والذي يتأثر بدوره بقيمة المعوقة الداخلية وهي التي تساوي النسبة بين الجهد الداخل والمقاومة الداخلة أيضا والتي يمر بها تيار الدخول وتعطي جهدا علي المكثف بقيمة :

$$V_c = 1 / C \int I \, dt = (1 / RC) \int E_{in} \, dt = - V_{out} \qquad (4\text{-}1)$$

تشير هذه المعادلة إلي أن جهد الخروج يتناسب مع تكامل integral جهد الدخول وبهذا تصلح الدائرة (الشكل 4-7) للاستخدام الزمني timer service كما وجدناها في الشكل رقم 4-1 من قبل والممثلة لهذا المزمن بشكل المنحني الزمني curve shaper .

ثالثا: محور نوعية التطبيقات Applications

يدخل التطبيق الفعلي للدوائر المنطقية في دوائر الوقاية عموما بشكل مكثف حتى وصل إلي الشيوع وكثرة إحلاله محل القديم أو المتهالك من القديم وتعطي الدائرة في الشكل رقم 4-8 شكلا من هذه التطبيقات حيث تتم المقارنة بين الموجتين الداخلتين (كقيمتين) ويكون الناتج للمقارنة هو الخروج منها وهو ما نراه مطبقا بالفعل في وقاية المسافة للخطوط الكهربائية عند العمل علي مبدأ قياس مقلوب المقاومة Mho resistance وتشير إلي المحل الهندسي للتغير في هذه القيمة.



الشكل رقم 4-8 : دائرة مقلوب المقاومة بأسلوب المقارنة

يعمل في الدائرة (الشكل رقم 4 – 8) كلا من الكاشفين IC1 & IC2 بأقصى قيمة كسب (Gain) عند الخروج وبدون التغذية الخلفية No FeedBack بينما يتبع الكاشف الأخير detector أسلوب المستوي level كما تحدد عليه بالرسم، ويظهر أيضا دائرة التكامل الكهربائية integrator قبل المرور علي الكاشف الأخير للتعامل مع الإشارات التي تأخذ شكل المربع وتحويلها إلي إشارات فاعلة خارجة بعد المرور علي كاشف المستوي.

مثال 4-1:

تستخدم الدائرة الكهربائية الواردة في الشكل 4- 9 من أجل ضبط زمن الفصل للمتمم وذلك لتأخير زمن الفصل. أفرض أن السعة C في الشكل رقم 4- 9 تساوي 10 μF والمقاومة $100\ k\Omega < R < 1\ M\Omega$. إذا كان جهد الخروج هو $v_i = 2\,u(t)$ وأن $V_{pu} = 1\ V$ أوجد زمن التأخير بهذه الدائرة في الحالتين:

أ) $R = 100\ k\Omega$ ب) $R = 1\ M\Omega$

الحل:

أ) حيث أن الثابت الزمني τ هو

$$\tau = R\,C = (100\ k\Omega)\,(10\ \mu F) = 1\ s$$

نحصل علي الجهد v_0 في الصورة:

$$v_0 = 2[1 - e^{-t/1}]_{t=T} = 1$$

$$1 - e^{-T} = 0.5$$

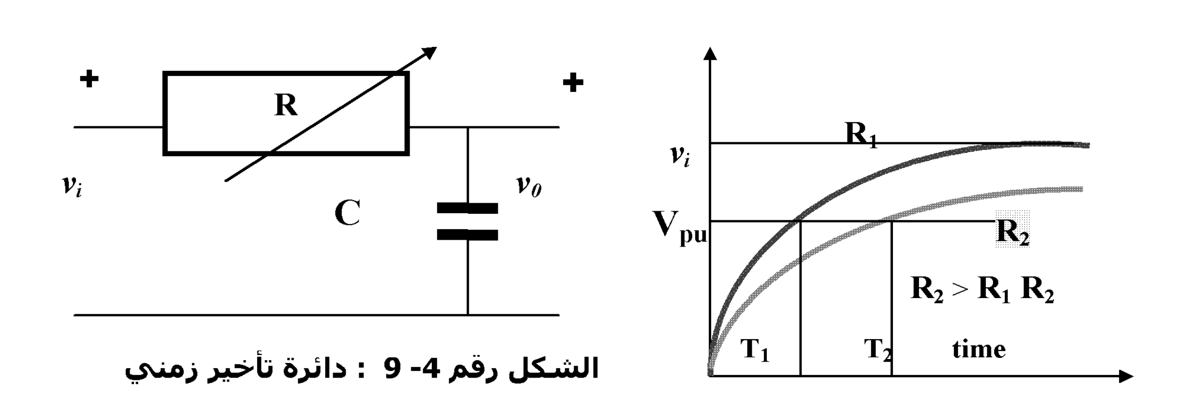
$$e^{T} = 2$$

$$T = \ln 2 = 0.693\ s$$

ب) أيضا الثابت الزمني يصبح

$$\tau = RC = (1\ M\Omega)\,(10\ \mu F) = 10\ s$$

$v_0 = 2[1 - e^{-t/10}]_{t=T} = 1$
$e^{T/10} = 2$
$T / 10 = \ln 2 = 0.693$ s
$T = 6.93$ s



الشكل رقم 4- 9 : دائرة تأخير زمني

3-4: الأسلوب الرقمي Digital Technique

تتطور النظم الرقمية **digital systems** وتشغيلها بسرعة فائقة **high processing** في العقود الأخيرة وذلك نتيجة التكنولوجيات المبتكرة والمتقدمة في مجال الدوائر الإلكترونية ومكوناتها مثل البوابات المنطقية **logic gates** والمشغلات الدقيقة **microprocessor** والحاسب الإلكتروني **computers** ودوائر الوقاية ذاتها **relaying circuits**، ولكنه من حيث المبدأ تقوم الدوائر الرقمية علي أساس تحويل القيمة الداخلة **analogue value** تحت غرض الوقاية ضد خطأ ما إلي إشارة رقمية **digital signal** ويتم تشغيل تلك الأخيرة علي أحد المحورين:

المحور الأول: المقاطع المنطقية Discrete Logic

هذه النوعية تتميز بالقدرة علي التعامل مع عدد من الإجراءات غير المركبة والمتداخلة التي تتم في وقت واحد علي التوازي **parallel** علي عكس ما يتم مع الإجراءاتالمعقدة حسابيا والتي تتم من خلال عددا منالمشغلات الدقيقة في ذات الحاسوب وهي المنظومة المعروفة بأسم التشغيل المتوازي **Parallelism** وهو ما يمثل المحور الثاني.

المحور الثاني: المشغلات الدقيقة Microprocessor

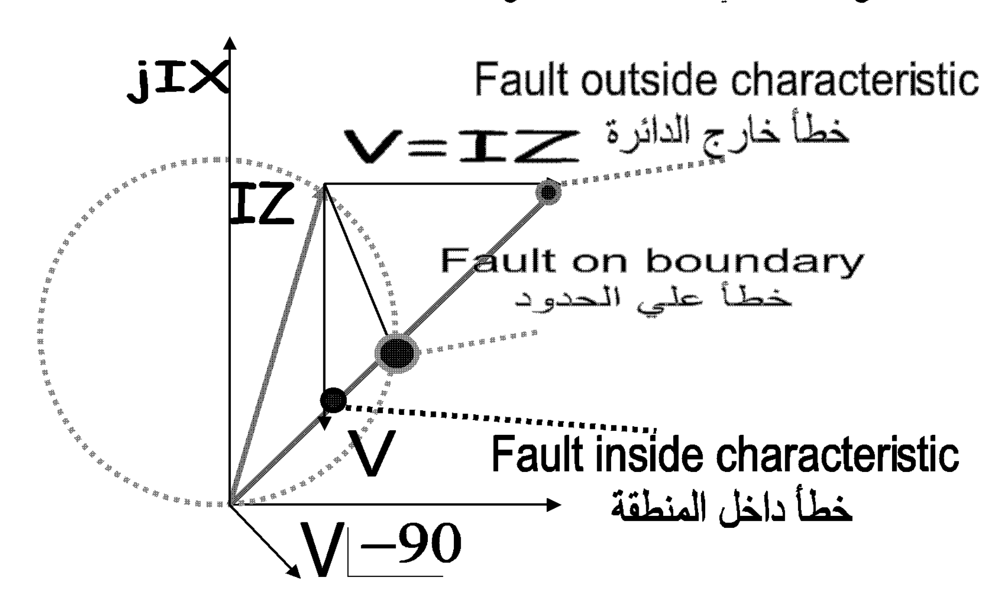
هي تلك المشغلات التي تستطيع التعامل مع المواضيع المعقدة **complex** والمتداخلة **function interference** وبشكل أفضل من غيرها علي وجه الإطلاق ولكنها في الحقيقة قد تعجز عن العمل علي التوازي في بعض الأحيان مما يعطي الفرصة للعمل علي المحور السابق في تلك الحالات، وهكذا سيكون من الأفضل بكثير عندما يؤخذ بالمحورين في آن واحد خصوصا مع الدوائر والعمليات المتداخلة تماما بحيث يعتمد التعامل مع الكميات المتوازية داخل نطاق كل مرحلة علي محور المقاطع المنطقية بينما تؤخذ النتائج جميعا للتحليل وإعطاء الوضع النهائي بمحور المشغلات الدقيقة.

لهذا السبب نجد أن الإستراتيجية الهندسية للأسلوب الرقمي والذي يعطي التكامل والإمكانية للحصول علي نتائج دقيقة والخالي من عيوب العمل الزائف ستكون الأفضل حيث يتشكل الأداء من مجموعة متتالية من العمليات المنطقية التي تتأكد معا وتعطي القرار النهائي الصحيح، جدير بالذكر أنه بهذا الأسلوب تقل مظاهر التشغيل الزائف ويكون دائما هناك تأكيدا ذاتيا وبصفة دائمة قبل إصدار أمر الفصل التلقائي والنهائي.

ننتقل الآن إلي المباديء الأساسية لصفات الأداء في أربعة مباديء علي النحو الآتي:

أولا: مبدأ المقارنة Comparison

عادة لا يجتمع كلا من السرعة quickness والأمان security في شيء واحد وفي نفس الوقت ونحن هنا بصدد تحقيق الميزتان معا حيث نحصل علي أسلوب مقارنة Comparison سريع ودقته عالية بعد التأكد من ذلك حيث يعمل الخروج output signal بناءا علي مبدأ التأكد verification من كل أمر صادر إليه حتى يتحقق صحته من مكان آخر، فإذا كانت الإشارة الثانية مؤكدة للسابقة فتعطي أمرا بالفصل التلقائي. أما إذا كان التأكد سلبيا نتيجة لتواجد موجات توافقية harmonic waves أو تشويه وتوهين distortion مع الموجات المسافرة traveling waves عبر مكونات الدائرة وما ينتج عنها من شوشرة noise فيتوقف أمر الفصل وبهذا يكون الأمان متوفرا بجانب السرعة وهي من أهم العوامل التي يتميز بها هذا النوع من الدوائر في التطبيقات المتنوعة مع هذا المجال.



الشكل رقم 4-10 : متجهات المقارنة لقياس mho

في هذا الصدد يستخدم أسلوب مقارنة الزاوية phase angle comparison بين المتجهات بناءا علي نظام ترتيب الأطوار phase sequence concept بمساعدة الدوائر الإلكترونية المتكاملة bipolar IC، فمثلا يجب الاستعانة بمرشح مرور منخفض من الدرجة الثانية second order low pass filter للتخلص من الموجات المسافرة بذبذبة قطع cut off قد تصل إلي 500 ذبذبة / ثانية. بالتوجه نحو التحليل النظري تكون الكميات الداخلة هي الكميتان الأولي A والثانية B كما في الشكل رقم 4-10 ويتبعان الصيغة الرياضية:

$$A = V - IZ \qquad (4\text{-}2)$$

$$B = V \angle -90^o \quad (4\text{-}3)$$

بذلك تقع حدود التشغيل في المنطقة

$$90^o > Arg (B / A) > 0 \quad (4\text{-}4)$$

ذلك هو ما سوف نقوم بالشرح عليه في البنود التالية.

1- الكمية الخارجة Output Signal

إعتمادا علي مبدأ المقارنة نتعامل مع المتجهات الداخلة ولذلك نأخذ المقارنة بالنسبة للزاوية **angle** بين متجهين ونأخذ المتجه **A** ومعه المتجه **B** لنقارن بين تغير الزاوية بينهما وحالة الوضع والترتيب المنطقي **logic sequence** للحالة المعتادة **normal** والأخرى المخالفة لها (الشكل رقم 4-11)، ففي حالة فرق الزاوية 90 فنعطي الموجة الأولي الرمز ‘A بينما الثانية تأخذ الرمز ‘B كما هو موضح في الشكل ونري الموجة المترددة وما يقابلها أيضا من موجات علي شكل المستطيل والترتيب المنطقي للموجات في الحالة في (أ)، وهي الحالة التي تعبر عن التشغيل الصحيح والوضع السليم للزاوية بين الكميتين **A** و **B**، هو:

$$A.B \quad A'.B \quad A'.B' \quad A.B' \quad A.B \quad (4\text{-}5)$$

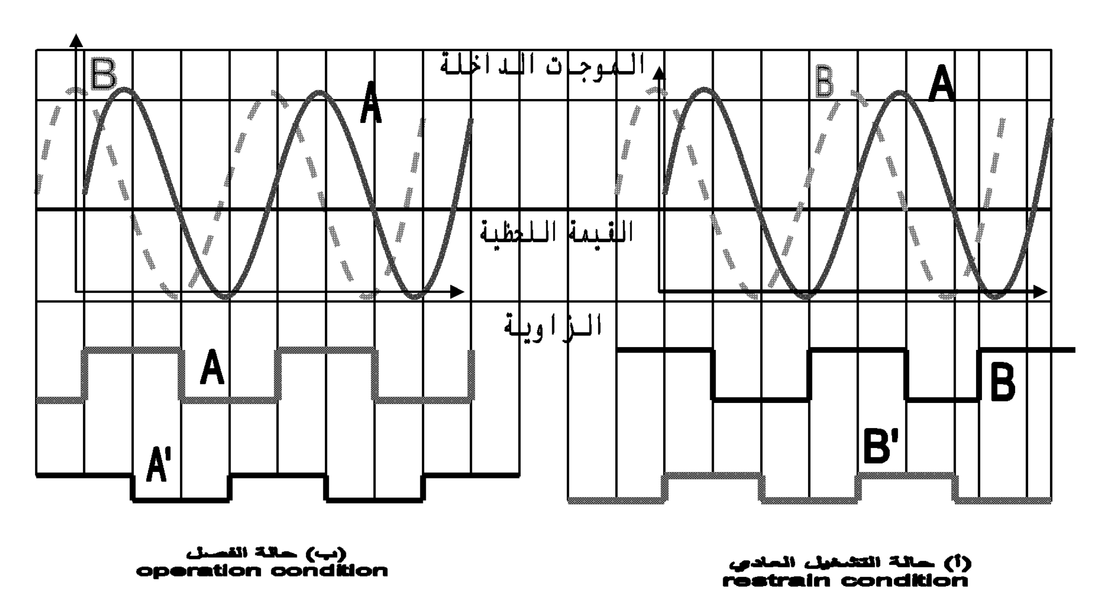
أما في الحالة (ب)، وهي الحالة التي تمثل اختلافا في الزاوية للكميتين عن التشغيل الصحيح مما يعني أن الزاوية بين الكميتين **A** و **B** قد أصبحت في الاتجاه الخطأ ، فنجدها

$$A.B \quad A.B' \quad A'.B' \quad A'.B \quad A.B \quad (4\text{-}6)$$

حيث نجد في الحالة (أ) نجد أن الموجة الأولي تسبق الثانية بينما ينعكس الوضع في الحالة الثانية وبناء علي ذلك نجد في الحالة الأولي عندما تتغير **A** ينعكس القطبية لها عن الموجة المتأخرة بينما مع تغير **B** تحتفظ بالقطبية مثل **A**. ولكننا نستقبل الوضع عند تقدم **B** فتنعكس الأوضاع السابقة.

يقدم الشكل رقم 4-11 تفسيرا واضحا لهذه الشروط المنطقية **logic conditions** والتي تحدد مدى الدقة في الحصول علي الكمية الخارجة **output** لاتخاذ القرار الصحيح بالفصل **trip** حيث يقوم المقارن **comparator** بفحص هذه الإشارات الداخلة عند كل تغير قطبي **polarity**، أي تغير عند المرور الصفري **zero crossing**، ليتحقق من أيهما تغير حقيقي أو زائف **false** ولكي يتأكد من الترتيب (**Sequence**) عما إذا كان يمثل حالة تشغيل معتادة **restraining** (الشكل رقم 4 – 11 (أ)) أم أنها حالة تستدعي الفصل (الشكل رقم 4 – 11 (ب)).

من المهم التنويه إلي أن تغير حالة الإشارة لا يعتمد فقط علي القطبية (المرور الصفري) فيتحدد لها وضع الفصل بل أيضا علي أنه قد يأتي هذا التغير من تواجد أي من الموجات التوافقية **harmonics** أو الشوشرة **noise** أو تلك الإشارات المزيفة **spurious** والتي قد تحدث مضافة علي الإشارة الأصلية **fundamental** من الشبكة الكهربائية. ولهذا فالعمل الآمن يتحدد له نطاق **criterion** كي يتم الفصل من خلال استقبال عددا من المتغيرات المتتالية والتي يجب أن تشير كلها إلي الاحتياج للفصل **trip** كما يقوم المقارن بتحديد عدد هذه المتغيرات وكل تغير فيها يضاف إلي أن يصل إلي الحد الأدنى لتشغيل الفصل (4 تغيرات يمثلون تغير الموجة خلال دورة كاملة **complete cycle**) بينما في حالة وضع الزوايا الصحيح يقوم كل تغير بالطرح من العدد ليصل إلي الصفر في نهاية الحدود (الدورة الكاملة).



الشكل رقم 4-11 : ترتيب المتغيرات المنطقية بالنسبة للحاسب الآلي

إستنادا إلي الشرح المستفيض السابق، تزداد عملية الفصل الصحيحة أهمية إذا ما كانت الشوشرة أو الإشارات الخاطئة والمزيفة أو حتى تلك التي قد تأتي بأكثر من عبور خلال الصفر مما تساعد علي تغير حالة الترتيب المنطقي للموجات وتظهر ترتيبا منطقيا في حالة غير صحيحة، ففي الشكل رقم 4-12 نري مثل هذه الحالات التي يضاف فيها عدادا **counter** (للتغلب علي الفصل المزيف) ليقوم بالتغيير كل زوجين من التغير مرة واحدة فنبتعد عن الأخطاء ،وهكذا نبتعد عن خطأ في حساب حالات التغير نتيجة الشوشرة من خلال هذا العداد.

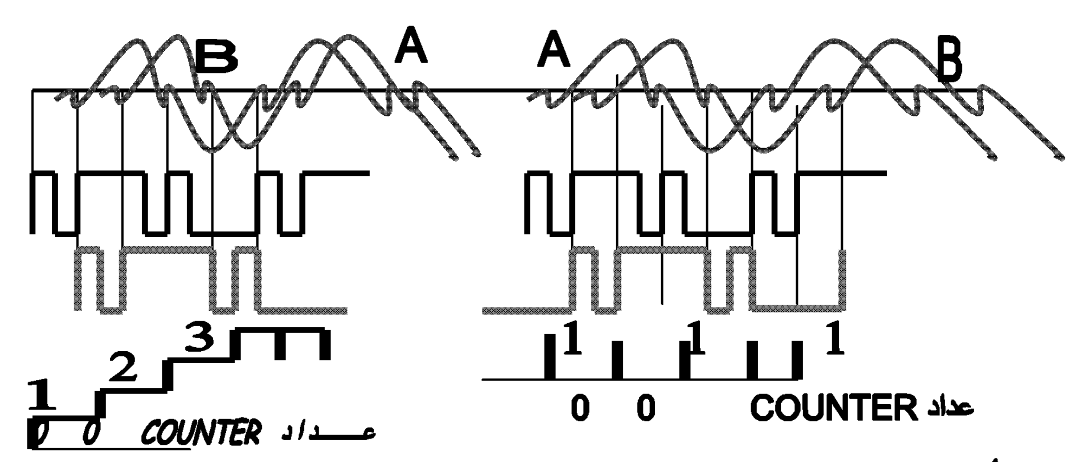
2- الفصل التلقائي Tripping

إعتمادا علي مبدأ المقارنة نتجه نحو النتيجة المطلوبة من دائرة الوقاية حيث لا يتوقف الأمر عند هذا الحد بل نحتاج إلي المزيد من الدقة لتحديد حالة الخطأ بالضبط بينما قد تظهر بعض الحالات الحرجة عندما تقترب الإشارات الداخلة من حدود التشغيل لأجهزة الوقاية **thresholding** أو عندما تحتوي الإشارة أو كليهما علي الشوشرة بقيمة كبيرة فتزيد معها مرات العبور الصفري في زوايا بعيدة عن الصفر الحقيقي، ولذلك نحتاج إلي التحول في صورة سلسلة من العمليات المتتالية للتغلب علي كل احتمال للتشغيل الخاطئ نتيجة الشوشرة ونضع هذه الخطوات الأساسية والهامة خلال عملية الفصل التلقائي وهي:

1- يجب بعد العد الأول أن يستمر زمن عمل العداد لمدة 6 ميلي ثانية علي الأقل من أجل الإحساس بتغير القطبية الفعلي **actual polarity** قبل إعطاء الأمر بالفصل

2- عندما يقوم العداد بالعد الثاني مع عدم تغير الحالة في الحالة العادية **down count** تكون إشارة الخروج من المقارن **comparator** متوافقة مع الشرط الكافي **condition** لضمان العمل الصحيح بحيث تعطي حدودا لأمر الفصل **limit criterion for tripping** باستمرار الزمن من جديد مع كل عد **count** جديد تبعا للتداخل مع الإشارات الداخلة **input signals** وعلي ألا يكون به شوشرة **noise**.

3- جدير بالذكر أن العداد لا يستطيع العد تبعا لتغير الحالة في ترتيب الفصل an up count وذلك حتى يمر زمن 4 ميلي ثانية علي الأقل من آخر عد last up count، وعند كل مرة يعمل فيها العداد تقل المدة المطلوبة عن السابقة والمسجلة زمنيا مع ضرورة إنهاء المدة التي بدأت في الحسبان من قبل، وهذا يقلل من الخطأ الذي قد ينشأ مع تواجد الموجات عالية التردد HF ويمنع المتمم داخل مجال التأثير من حالة over reach نتيجة تواجد التغير الأسى من الموجات الداخلة (الشكل 4 - 13). في هذه الحالة نتطرق للتعبيرات الرياضية حيث نتعامل مع الحالة المنطقية التالية:



(أ) حالة التشغيل العادي restrain condition ب) حالة الفصل operation condition

الشكل رقم 4-12 : تأثير التداخل علي المقارن المنطقي

$$A.B\ A'.B\ \ A'.B'\ A.B'\ A.B\ A.B'\ A'.B'\ A.B'\ A.B\ A'.B'\ A.B'\ A.B \qquad (4\text{-}7)$$

هذه شروط منطقية تعطي العد التالي للعداد بين قيمتين أعليUP (U) وأسفل DOWN (D) علي النحو التسلسلي التالي:

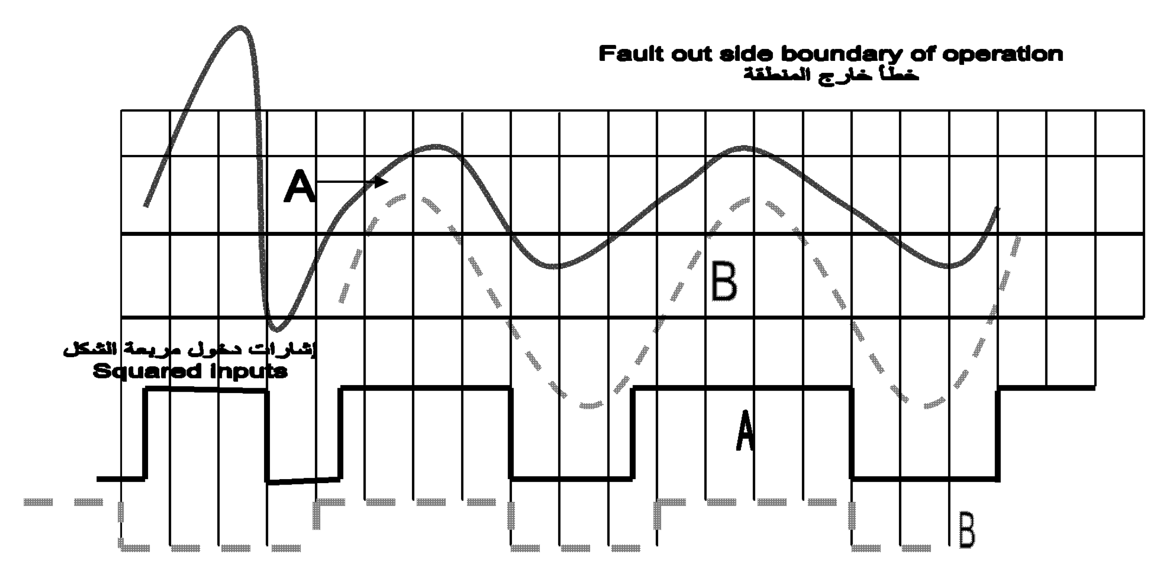
$$D\ D\ D\ D\ \ U\ U\ \ D\ D\ \ \ D\ \ D\ D \qquad (4\text{-}8)$$

نشير إلي أن الحالة U U لا تعطي أمر الفصل الحقيقي لأن المسافة الزمنية السابقة أقل من 4 ميلي ث وهو ما يؤكد قدرة التغلب هندسيا علي التأثيرات الناتجة عن الحالات الانتقالية transients.

4- يلزم عمل كبح (فرملة) blocking input إذا كان العداد قد رصد عددا أقل من أربعة مرات (حد التغيير) ويستخدم ذلك بنجاح بالغ إذا كان هناك اختلافا بين المعلومات التي رصدت من المصادر المختلفة، فمثلا من جهاز الاتجاه directional element وكذلك من تواجد القيم اللحظية الفجائية الناتجة خصوصا عن دخول محولات الجهد السعوية في الدوائر الكهربائية، وهو ما يعني القضاء علي تأثير الشوشرة noise.

5- إذا خرج المقارن بإشارة للفصل tripping output لا يجوز عودته إلي الوضع الأصلي reset إلا إذا كان العداد صفرا تأكيدا علي عدم الفصل الخطأ.

6- يجب أن يكون أقل زمن تشغيل هو 6 ميلي ث وبتواجد متمم تكامليintegral tripping relay مناسب للفصل حتى نحصل علي أقل زمن عمل operating time خصوصا بالنسبة لوقاية المسافة distance protection علي الخطوط الهوائية والكابلات الأرضية حيث يزاد الزمن إلي 7 ميلي ث بالنسبة لأقل زمن عمل minimum operating time

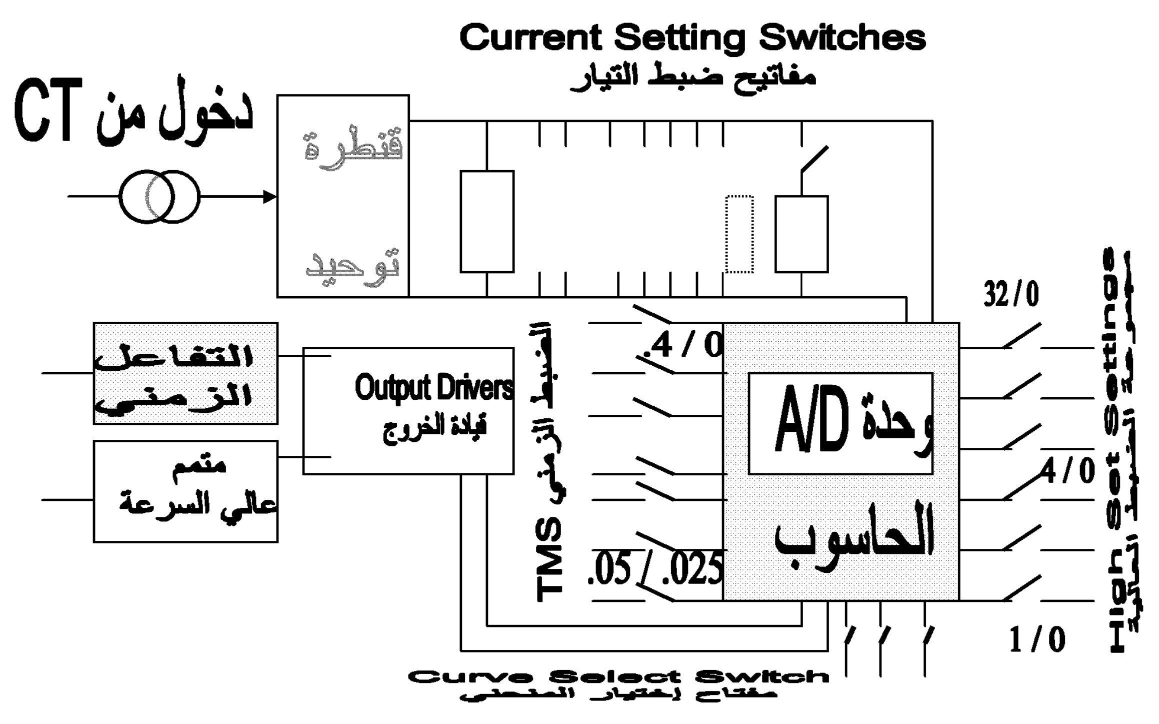


الشكل رقم 4-13 : تأثير الخواص الأسية

نظرا لمحدودية التعامل مع الملمسات إلكترونيا نجد أنه تستخدم في الإشارة **signaling or flagging** المرئية **vision** والسمعية **sound** متممات ديناميكية **mechanical device** لتوصيل أطراف لها بأطراف فصل ويعتمد ذلك علي أذرع مغناطيسية **attracted armature** عند التعامل مع متممات ساكنة **static** ولكن الثيريثتور**thyristor** لا يعمل مع النوع الميكانيكي للإشارة. كما يعطي أسلوب الإضاءة المشعة **light emitting diodes** وسيلة مباشرة في هذه الحالة خصوصا وأنها قليلة الجهد ولها إعتمادية عالية وذات عمر طويل، ويمكن إضافة المنافع النابعة عن استخدام الذاكرة والتي قد تغذي متممات صوتية **Reed Relay** (سرينة) حيث تكون الذاكرة من النوع **non-volatile** حيث يستمر العمل وعليها الجهد بعد فقدان مصدر الطاقة **D C Supply**.
كما يمكن الاعتماد علي أجهزة التخزين **charge storage device** أو الحاسبات المخصصة للوقاية ذات نوعية القراءة فقط **electrically erasable / programmable read only memory** وتعرف اختصارا بالرمز **EEPROM** حيث تتمتع هذه النظم بالعديد من المزايا بالرغم من تكلفتها المرتفعة. تصلح الحاسبات للتعامل مع دوائر الوقاية بدقة عالية لما تتميز به من صفات مثل النظم الخبيرة سريعة الأداء عالية الكفاءة، وهي تصلح لتحل محل الوصلات السلكية المنطقية أيضا **hard wired contact logic** وتظهر أهمية ذلك مع زيادة عدد المتغيرات المنطقية **logic variables** كما هو الحال مع متممات الوقاية للمسافة **distance relay** علي الخطوط والكابلات الكهربائية، ويمكن عمل أشكال نمطية للذاكرة المستخدمة وأجزاء الحاسوب مثل وحدة التشغيل المركزية **CPU** وتخصيص دوائر كهربائية **hardware** خصيصا لعمل الوقاية.

في هذه الحالة نحتاج إلي تصميم خاص بالدوائر العاملة في الوقاية وإعطاء الفرصة لإضافة أو تعديل أي من البيانات للضبط أو التعديل أو التغيير من خلال وحدات الدوائر المطبوعة **printed circuits** المستقلة ويجب الاعتماد علي نظام الكروت الكهربائية المطبوعة **IC chips** والسماح بالقراءة فقط **EPROM** منعا للخطأ عند التعامل مع هذا المجال والذي لا يجوز فيه السماح بأي خطأ ولو بقدر ضئيل من ذلك الخطأ. كما تتاح بذلك الفرصة لاستخدام عدة أشكال (دوائر) بمفاتيح خارجية للضبط **thumb wheel switches** تسهيلا علي الأداء وبذلك تسهل المتابعة للبرامج ويمكن الاعتماد علي المشغلات الدقيقة في إعطاء التحذيرات أو التنبيهات المرئية أو السمعية في وقت واحد إذا ما ظهر عيبا في أي من هذه الكروت المطبوعة.
يمكن مع الحاسوب بدلا من تشغيل **A/D converters** مع الحاسوب كي لا يحدث تأخير في سرعة الأداء مع المتممات عالية السرعة بحيث تسهل عملية التغلب علي ذلك باستخدام الدوائر المخصصة لهذا الغرض لتحل محل

هذه المغيرات، وهذا الطابع يناسب بقدر كبير متممات الوقاية ضد زيادة التيارover current relay متأخرة الفصل زمنيا أو بالفصل الفوري كما نراه في الدائرة الكهربائية المبسطة بالشكل رقم 4-14.



الشكل رقم 4-14 : دائرة مبسطة للحاسوب الآلي كمتمم زيادة تيار

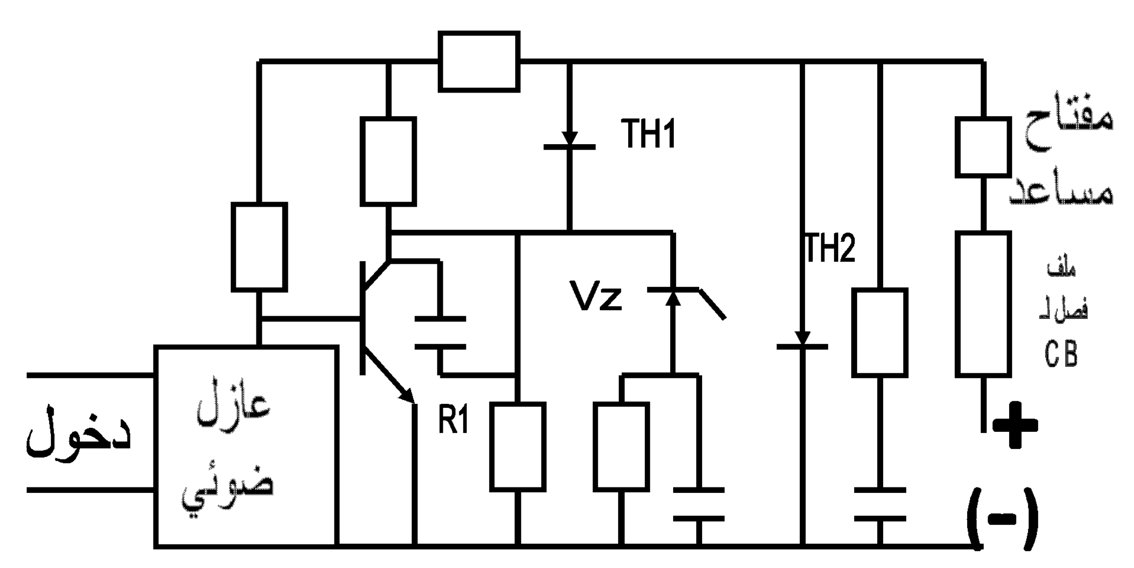
في هذا الشكل رقم 4 – 14 نجد أنه تم استخدام الحاسوب مستقبلا للإشارة من محولات التيار مع وجود مقاومات الضبط للتيار حيث تتاح فرصة لتحويل الإشارة الخارجة من الحاسوب إلي عداد رقمي أو المخارج الاختيارية التي ظهرت علي الرسم. يمكن أيضا التعامل مع التوقيت من خلال التفريغ الكهربائي في المكثفات وتحديد الزمن بالضبط واللازم، ومن ثم التحكم فيه كما يستخدم نفس النظام مع دوائر التحكم الآلي في الكثير من التطبيقات الكهربائية.
نري في الشكل 4-14 دائرة للوقاية ضد زيادة التيار ومعه مجموعة كبيرة من الضبط سواء كان للزمن أو لقيمة التيار مع إمكانية التغير الزمني تبعا لتواجد أسلوب اختيار المنحني المطلوب إتباعه عند الفصل.
في هذه الدائرة نجد الضبط للتيارات والذي يتم من خلال توصيل المقاومات عند الدخول إلي الحاسوب الآلي وقبل ذلك يتواجد الموحد الكامل للموجة من خلال الكباري الموحدة للتيار والتي تركب علي ملفات الجهة الثانوية لمحولات التيار وهذه المقاومات المحددة للتيار تتوالى في القيم مثل (... 0.2/0.1 or 0.2 / 0 or 0.4 / 0) بينما قيم الضبط الأخرى قد جاءت علي النمط ذاته.

ثانيا: مبدأ الدقة Accuracy Principle

بعد الشرح المبسط لمبدأ المقارنة السابقة نتوجه الآن إلي المبدأ الثاني وهو مبدأ الدقة حيث نحتاج إلي الدقة التامة في كل القراءات وخصوصا مع القيم الكبيرة والتي تلازم لحظات تشغيل أجهزة الوقاية. كما نشير إلي أنه ليس من الواجب توصيل

الدوائر الإلكترونية electronic circuits مباشرة مع أطراف الدوائر الكهربائية لما لها من تأثير عند هذه الأطراف terminals وما يتبع الحالات الفجائية من أشكال موجة وتأثيراتها المختلفة.
كما يمكن استخدام الأجهزة الضوئية optical devices للحصول علي الإشارات المطلوبة input signals من هذه الدوائر الكهربائية وإدخالها إلي الدوائر المنطقية منخفضة المستوي low level logic inputs وذلك يكون مناسبا في حالة العمل مع المتممات ذات الذراع المنجذب attracted armature أو من النوع السريني REED RELAY لأنها تصبح بطيئة الحركة slow بالنسبة لبدء initiation حركة المفاتيح الكهربائية السريعة high speed circuit breakers وكذلك لملامسات connectors المتمم السريني خصوصا مع القدرات الصغيرة، إلا أنه مع القدرات الكبيرة يظهر كلا من المتمم السريني الجاف عالي القدرة high power dry type أو الرطب الزئبقي mercury wetted قادران علي تحمل القدرة العالية والتي تصل إلي 3 ك. و. في 10000 عملية تشغيل وفي هذه النوعيات يلزم اتخاذ إجراءات الحماية لها ضد الصدمات الميكانيكية mechanical shocks.

علي الجانب الآخر تنجح الدوائر بالثيريثتور thyristor في التغلب علي هذا التداخل interference بين الدوائر المنطقية والشبكات الكهربائية حيث أنها تستطيع عزل isolate الدوائر الخارجية تماما (الشكل 4-15)، فنري فيالشكل رقم 4 – 15 الإشارة الغامزة trigger signal تدخل من خلال الجهاز العازل الضوئي إلي الثيرثتور رقم 1 إذا كان ملف الفصل tripping coil للمفتاح الكهربي CB له ثابت زمني time constant أكبر من 30 ميلي ثانية والثيرثتور رقم 2 لن يغمز الدائرة إلا إذا كان التيار أكبر من القيمة المقننة الأدنى لإشعاله minimum firing current، أما الباقي فيتم تبعا لإشارة البوابة gate من الثيرثتور رقم 1 وجهد الزينر Zener Voltage والمقاومة R1 بحيث يصبح الجهد عليها أكبر من جهد الزينر المحدد من قبل والأعلى من مستوى جهد تشغيل الثيرثتور رقم 2 ويجب هنا إضافة الحماية اللازمة للأوضاع الفجائية الناتجة عن التشغيل كوسيلة أمن security حتى يتحمل الجهاز الاختبارات سواء للتداخل أو النبضية impulse أو حتى نوع burst.



الشكل رقم 4-15 : دائرة فصل تلقائي للوقاية بالثيرستور

أما بالنسبة للأسس الجوهرية للتعامل مع الدوائر الرقمية للوقاية في الشبكات الكهربائية بما في ذلك من مزايا فهي:

1- صغر الحجم
2- إمكانية تطويرها بسهولة

3- الاعتماد علي توصيل الأطراف داخليا وبأقصر المسافات لتقليل الوصلات الخارجية من جهة ومنع التداخل بين الإشارات من الناحية الأخرى مما يؤدي إلي تقليل معامل خطورة الصعق surge risk factor ويزيد من تأمين security الدوائر في أداء عملها
4- تحديد مخارج terminals محددة لأطراف الدوائر الكهربائية من أجل الصيانة والاختبار وقياس كفاءة الجودة quality
5- تحديد أطراف كل وحدة صغيرة لتكون مستقلة حتى يتمكن المختصون في المصانع من التعامل معها وإجراء أي أعمال تطوير عليها إضافة إلي أنه يمكن الاعتماد علي أسلوب الأسلاك الخلفية back plane wiring في ذلك. كما أنه من الضروري توضيح أن هذه التقنية البسيطة تساعد بشكل كبير علي التعامل السهل في الصيانة والمراجعة والتفتيش.
6- إظهار أطراف الاتصال مع محولات التيار أو الجهد مما يسمح بسهولة أعمال التبديل والصيانة
7- عمل فرملة blocking عند رفع هذه الوحدات من الخدمة بشرط ألا يتم الفصل إلا بعد توصيل قصر مباشر باستخدام الكباري bridges والتي تتواجد مع الوحدة خصيصا لهذا الغرض علي الأطراف المحددة
8- إتاحة الفرصة لاستخدام نظم الكروت المطبوعة printed cards لأعمال الصيانة
9- إنتاج وحدات صغيرة مستقلة مما يعطي المرونة في التعامل معها سواء في المصانع المختلفة أو عند إضافة وحدات أو تعديل أية دوائر لمواكبة تطورات الشبكة الكهربائية أو عند إعادة الضبط setting أثناء التشغيل.

ثالثا: أسس الدوائر النهائية Circuits Basics

نظرا لاحتواء الدوائر الإلكترونية علي أشباه الموصلات semiconductors فإنها تتعرض لظهور الموجات غير الأصلية والتي تنتمي لمجموعة الموجات التوافقية أو التي تعرف بأنها شوشرة noise في الدوائر الكهربائية والكميات المتعاملة معها ولهذا تنشأ فيها حالتين من الأعطال وهي إما العيوب التي تتمثل في النكباتcatastrophic وهو ما يحتاج إلي اختبار العزل الكهربائي أو تلك التي تأتي مثل رداءة الأداء maloperation R5 = 1 kΩ , R3 = 0.5 kΩ , R1 = 0.2 kΩ وهو ما يحتاج إلي اختبار التردد العاليHF disturbance test (الشكل رقم 4-16) حيث تستخدم موجة نمطية بذبذبة 1 ميجا هيرتز ومعدل التكرار 400 مرة / ثانية ولها معدل إخماد قدره من 3 حتى 6 دورة ، ولذلك نحتاج إلي أسلوب واضح لإجراء التجارب التي تحمي هذه الدوائر من تلك العيوب أو علي الأقل تزيد من طول عمر تشغيلها وتخفض معامل احتمال الانهيارات أثناء التشغيل.

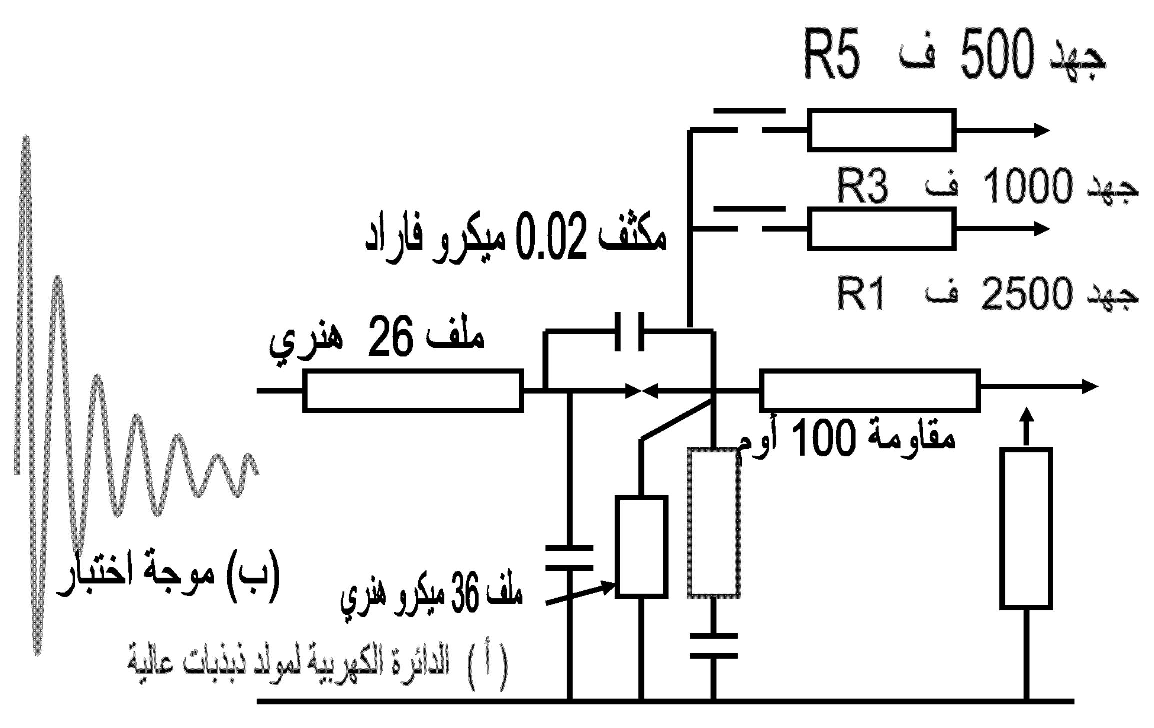
جدير بأن تتحدد قيم المقاومات التي تتلاءم مع كل جهد اختبار مع التأكيد علي أن الغلاف الذي يخص المتمم أو الجهاز المختبر لا بد وأن يكون متصلا بالأرض كجهد صفري.
حيث أن التطور الحادث علي هذه الجبهة بدءا من المكبرات الخطية linear operational amplifiers ثم البوابات الرقمية digital gates ثم إلي الدوائر المنطقية logic circuits وأخيرا الدوائر المتكاملة متعددة الأغراض multi purpose integrated circuits أو تطوراتها مثل الدوائر الكبيرة واسعة النطاق large scale digital IC أو بعد ذلك الذاكرة memories ثم انتهاء مع المشغلات الدقيقة microprocessors فكان من الضروري التأكيد علي جودة أي منها بل وجميعها أيضا فتكون هناك أهمية للمتابعة لتقليل معامل الانهيارات failure factor الإحصائية لتشغيل هذه الدوائر وتلافي أسباب ظهورها.

لهذا نهدف في الدوائر الإلكترونية إلي هدفين هما:

الأول: رفع كفاءة الأداء High Performance

الثاني: إقتصادية الإنتاج Economic Production

من الممكن تحقيق هذين الهدفين بجانب ضرورة الاحتفاظ بالجودة علي أعلي المستويات، كما يمكن الاعتماد علي بعضا من المحاور الهامة وصولا إلي الهدف المنشود حيث نتناولها في السطور التالية .ويعتمد هذا المبدأ علي أسلوب البرامج المتكاملة (حزم برمجية) software للتشغيل باستخدام الحاسوب الآلي للحصول علي نتائج الجودة المطلوبة جزئيا وكليا في آن واحد توفيرا للجهد والوقت والتكلفة أيضا، فنأخذ هذا التأكيد علي الجودة في جزأين ونسطرها كما هو آت.



الشكل رقم 4-16 : دائرة التجارب للذبذبة العالية

الجزء الأول : المكونات Components

إن مكونات الدوائر الإلكترونية متباينة وتكون عرضة للتلف بسرعة مما يستوجب التأكد من صلاحية كل مكونات الدوائر، وبناء عليه يلزم اللجوء إلي أسلوب الإختبار للتأكد من صلاحية المكونات بصفة مستمرة من أجل تحقيق المستوي الصحيح في الأداء. هكذا نجد أن الاختبار يعتمد هنا علي نوعين هما:

1- الاختبار الديناميكي dynamic test

هذا الإختبار يجب أن يتم عند درجة حرارة 70 °م

2- الاختبار الإستاتيكي static test

من المحدد أن يتم الاختبار الإستاتيكي عند الدرجتين: إما 85 °م/160 ساعة أو 100 °م/ 72 ساعة.

نحتاج لهذه الاختبارات لأن الدوائر الإلكترونية تتأثر بشدة بدرجات الحرارة وتتغير معها نقاط العمل Operating Points لكل جزء فيها ويكون الاختبار للأجزاء المستقلة هادفا إطالة عمر هذه الوحدة المتكاملة لأن انهيار الجزء يزيد من العبء الكهربائي علي بقية الأجزاء مسرعا من تلفها ويمكن برمجة الاختبارات بشكل مباشر مع الحاسبات كي نحصل مباشرة علي

نتيجة الاختبار النهائية (رفض/ قبول) final result وتتم هذه التأكيدات للجودة علي مراحل ثلاث بجانب اختبار تكميلي أساسي عند الحاجة إليه وهو يتكون من:

1- اختبار التشغيل والأداء functional test ويتم بمساعدة المشغلات الدقيقة
2- اختبار ديناميكي لتحديد burn in عند 70 ْم لمدة 48 ساعة تشغيل
3- كل الأجزاء التي تمر بنجاح من الاختبار الحراري يعاد مرورها علي الاختبار السابق الأول
4- كل الأجزاء التي تقع عليها احتمالات العيوب تمر باختبار آخر مبرمج اعتمادا علي مبدأ drift

الجزء الثاني: الدوائر الشاملة المطبوعة Printed Circuits

يميز المتممات الساكنة ذلك المدى واسع النطاق للعمل فيها وتطبيقاته من أسلوب التشبيه analogue وحتى الدوائر VLSI والحاسبات الآلية وكل هذا يتعرض لعدد من العيوب النمطية مثل: اللحام solder القنطرة bridge - النقط الجافة dry joint - الاتصالات المفتوحة disconnected circuits وهذا يتطلب التدقيق والاختبار لكل الأجزاء الفعالة active components أو غير الفعالة passive components ولذلك نجد النماذج modules ووصلاتها في حاجة إلي المراجعة قبل وبعد الإنتاج ففي الوصلات ندخل إلي مجال ترتيب الوصلات connections اعتمادا علي أسلوب wire wrapping technique ويمكن البرمجة لأداء الاختبار وتكون مزودة بما يعرف الوصلات الخلفية back plane wiring ويتم الاختبار بالاستعانة بمولد ذبذبة متعدد الأوجه multi phase AC signal generator حيث يغذي جهاز فولت متر رقمي مع عداد زمني وباستخدام الحاسب الآلي والحزم البرمجية software المخصصة لهذا الغرض وهي التي تسهل هذه المهمة كما تعطي الفرصة في ذات الوقت للتعامل مع الأقراص المرنة floppy disk.

رابعا: الاختبارات Tests

تقدم المواصفات القياسية عددا من الإختبارات الأساسية والضرورية قبل دخول الدوائر المستخدمة في الخدمة والإعتماد عليها من حهة الدقة والجودة وتتنوع هذه الاختبارات عموما خصوصا مع التطور السريع في هذا المجال إلي أربع محاور هي:

المحور الأول: اختبارات الإنتاج production Test
المحور الثاني: اختبارات التفتيش الهندسي Inspection
المحور الثالث: اختبارات المصنع Factory Tests
المحور الرابع: الاختبارات الدورية Routine

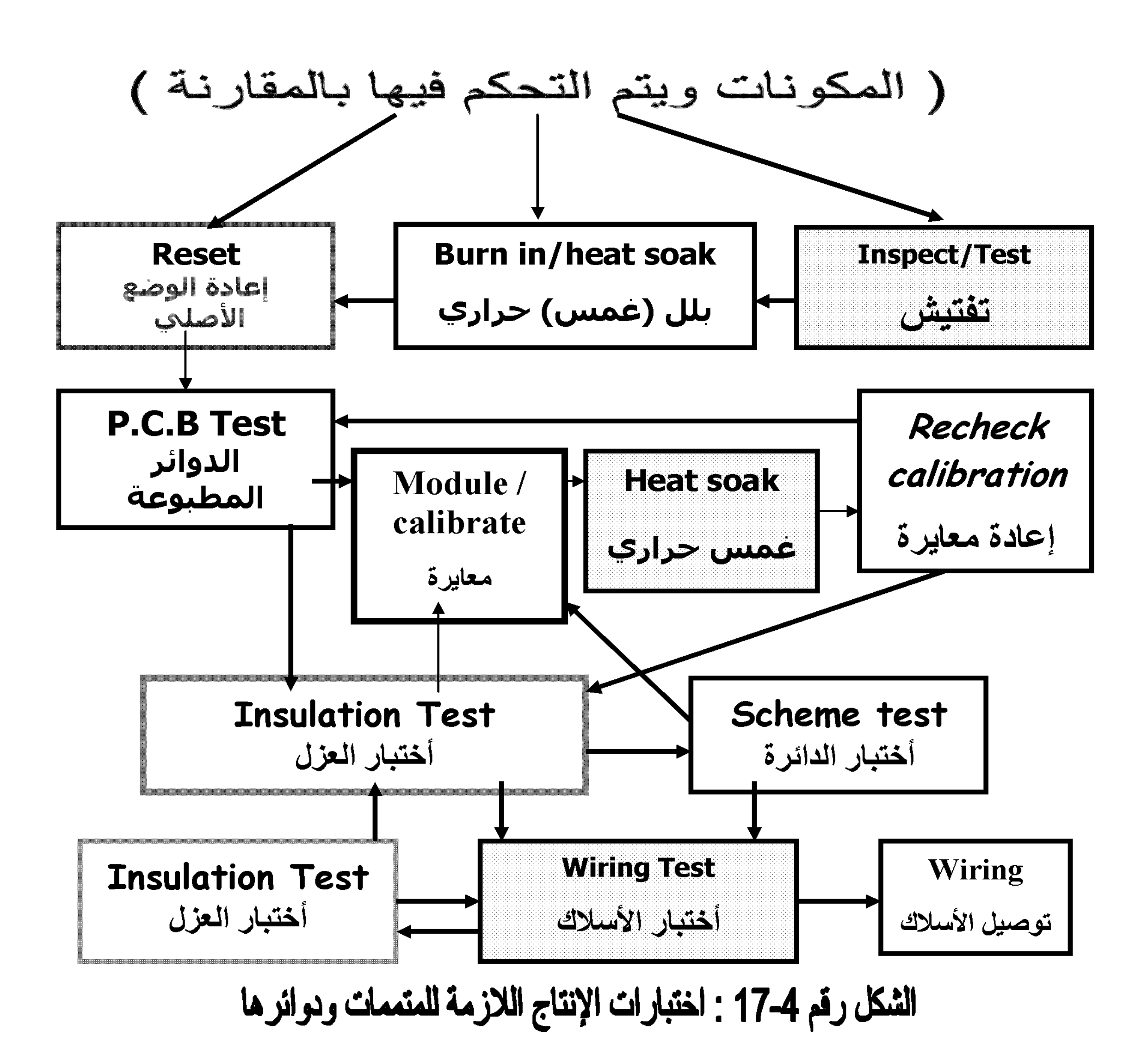
أما عن المحور الأول فيشمل عددا من الأنواع الهامة هي:

النوع الأول: اختبار الإنتاج Production Test

إن الإختبارات الأولية والمعروفة باسم إختبارات الإنتاج تشكل الخطوة الأساسية قبل دخول الخدمة ومن ثم سوف نستطرد بعضا من التفاصيل الجوهرية لزيادة الفهم في أطر فلسفة الإختبارات عموما وإختبارات الإنتاج علي وجه خاص وهي تشمل تلك الاختبارات التي ذكرت من قبل مع الجودة وتعطي النتائج مطبوعة مباشرة تسهيلا في الأداء وسرعة في الإنتاج وتتم هذه الاختبارات كما يظهر من الشكل 4-17 علي عدة محاور.

من ذلك الشكل نري أن المكونات عموما تختبر بالتحكم من الحاسوب الآلي للمعاملات تحت الاختبار وتعطي النتائج مباشرة وتتم خلالها أيضا مقارنة هذه المكونات بتلك النتائج النمطية والمطابقة للمواصفات. أما للدوائر المطبوعة فنجد أنها تتأثر بأسلوب التشخيص بالحاسوب تبعا للحزم البرمجية التي تعتمد علي أسلوب (إيجاب / رفض)، أما بالنسبة للنماذج المستخدمة

فهي تتبع كل مصنع بصفة مستقلة بينما نجدهم جميعا متحدين في الاختبارات النمطية وتتبع التشخيص الآلي والمبرمج. تتطور هذه الإمكانيات تبعا لما يحظى به التقدم السريع في هذا القطاع علي المستوي الدولي. بالنسبة للعلب cases التي تحوي المتممات والدوائر الساكنة هذه وهي أيضا تتعرض للاختبارات المحددة في الجزء السفلي من الرسم وتشمل التوصيلات واختباراتها وتكون دورية، وفي جميع الأحوال نحتاج إلي المصادر الأساسية كما في الرسم الصندوقي الوارد بالشكل رقم 4-18.



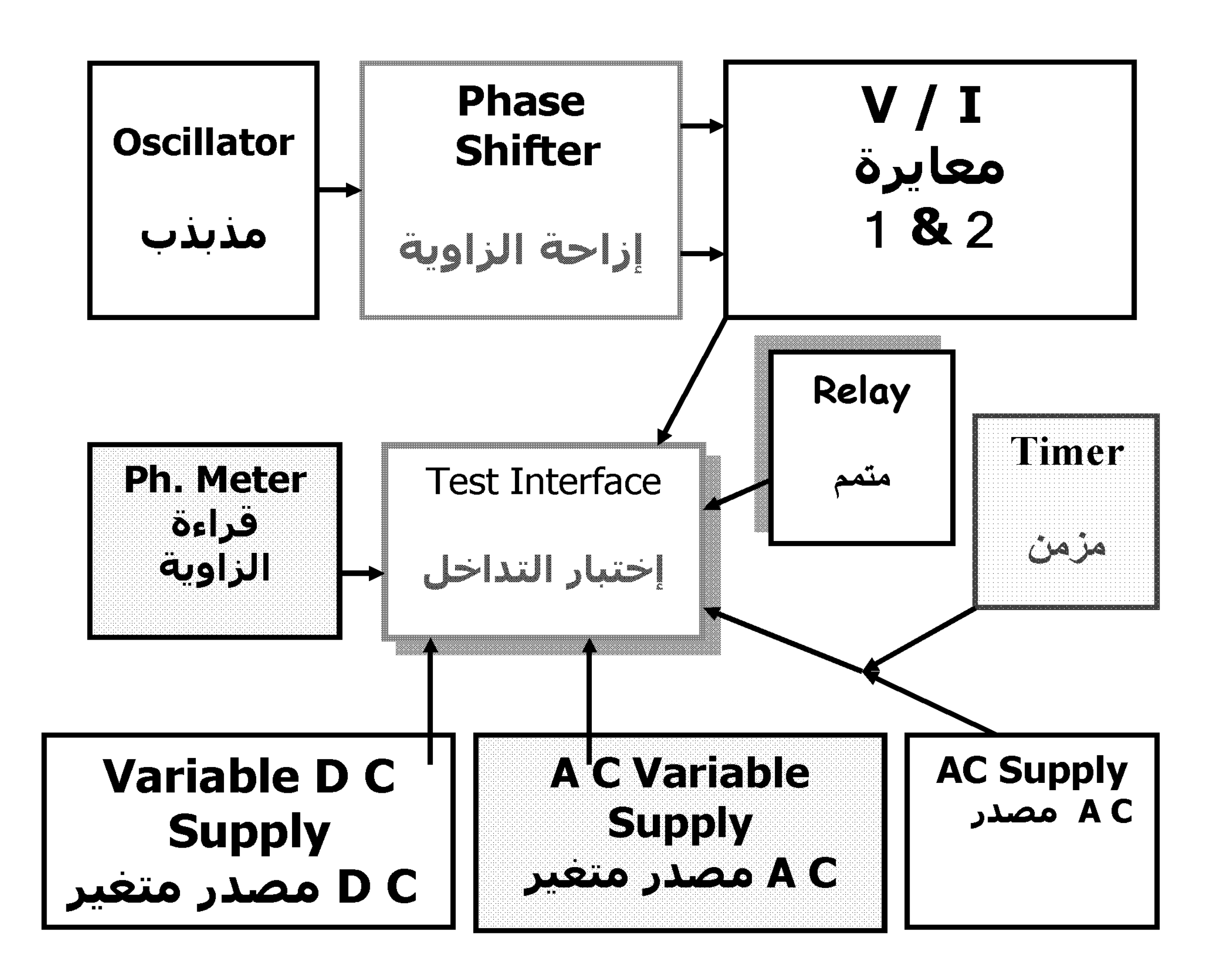
الشكل رقم 4-17 : اختبارات الإنتاج اللازمة للمتممات ودوائرها

النوع الثاني: اختبار العزل Insulation Test

هو ما يتم لقياس قدرة العزل علي تحمل الجهود العالية التي تتعرض لها هذه الدوائر ولها اختبار نمطي هو:

1- الاختبار النبضي Impulse Test
(مقنن 2.5 kV , 1.2 / 50 μs)

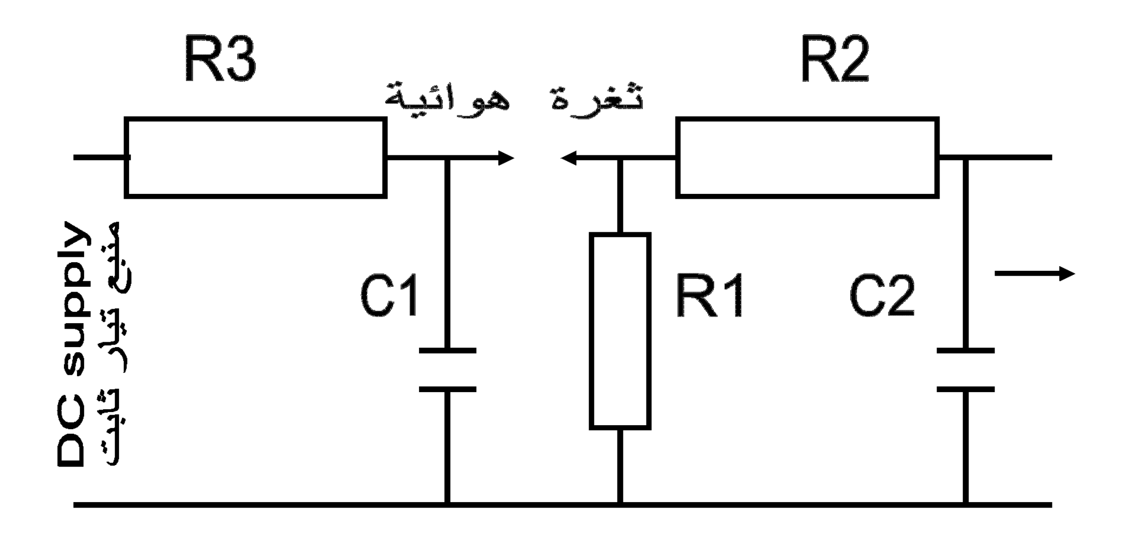
يعتبر الإختبار النبضي واحدا من أهم الإختبارات الخاصة بمستوي العزل الكهربائي لأي من المعدات أو الدوائر والأجهزة الكهربائية. ويتم ذلك هنا علي أساسين، فالأول باستخدام دوائر كهربائية hardware مخصصة لهذا الغرض أما الثاني فيتجه إلي الحزم المبرمجة حتى يعطي المجال الأوسع في التطبيقات وقد يعطي الفرصة كي نصل بالجهد إلي 5 ك. ف . بدلا من 2.5 ك. ف. إستكمالا لهذا الغرض يقدم الشكل رقم 4-19 الدائرة الخاصة باختبارات العزل الكهربائي عند جهدي 5 أو 1 ك. ف. بشرط أن يتم توصيل جسم المتمم أو الجهاز حسب الأحوال بالأرض. نجد أن هذه الدائرة تعطي الفرصة لتوليد الجهدين تبعا لتغير قيمة المكونات فيها كما هو محدد في الجدول رقم 4-1.



الشكل رقم 4-18 : وحدة الاختبار الأساسية

النوع الثالث: الاختبار النهائي Final Test

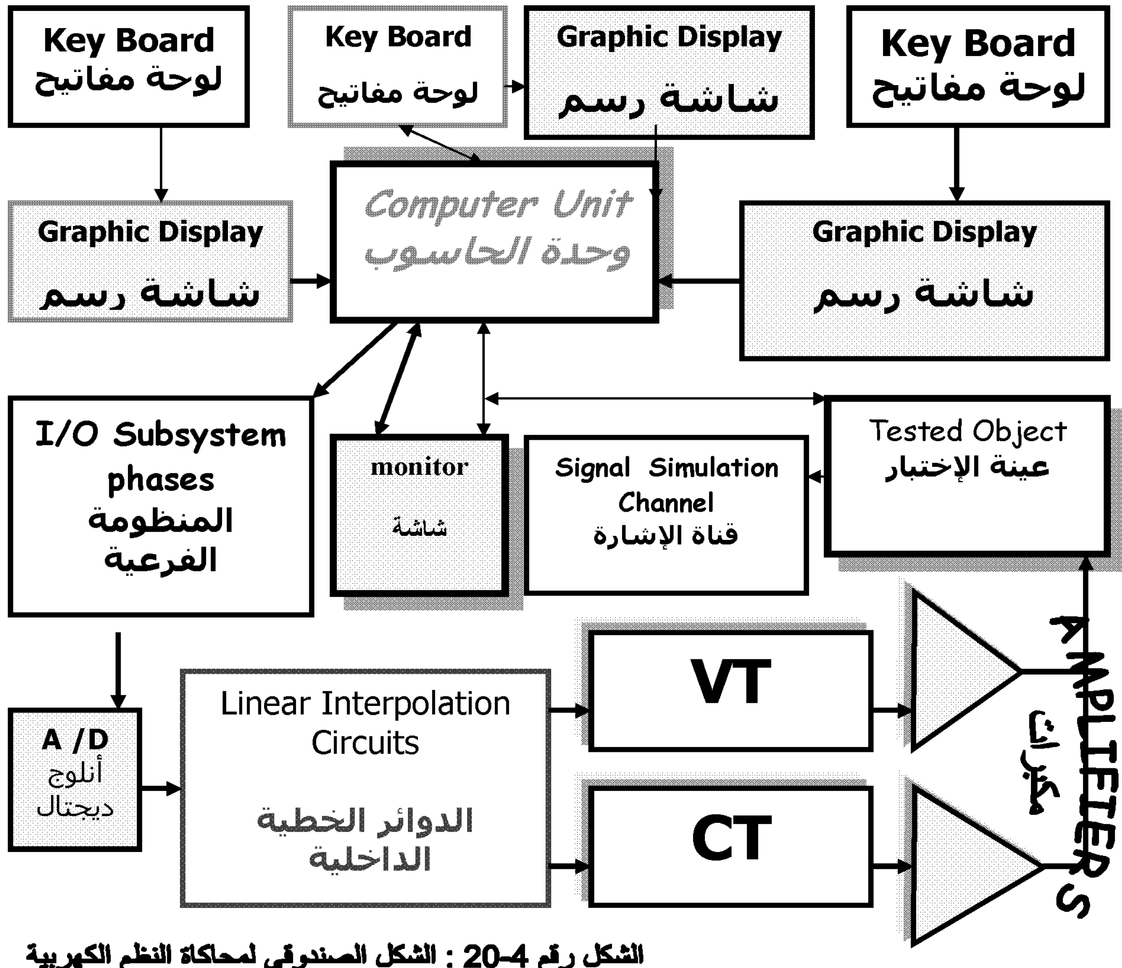
نحتاج هنا لنظم الاختبارات المتكاملة والتي تعطي الفرصة لاختبار الجزء والكل في آن واحد وذلك متاح من خلال أسلوب المحاكاة وهو ما يكون عادة في متناول المتخصصين بصدد الشبكات الكهربائية، ويقدم الشكل رقم 4-20 الشكل العام للمحاكاة في النظم الكهربائية.



الشكل رقم 4-19 : دائرة التجارب لمولد الموجة النبضية

الجدول رقم 4-1 : قيمة مكونات دائرة الاختبار لجهدي 1 و 5 ك. ف. النبضي

المكونة	للجهد 1 ك. ف.	للجهد 5 ك. ف.
R1	180 أوم	1800 أوم
R2	500 أوم	500 أوم
C1	0.6 ميكرو فاراد	35 نانو فراد
C2	0.8 نانو فاراد	0.8 نانو فراد

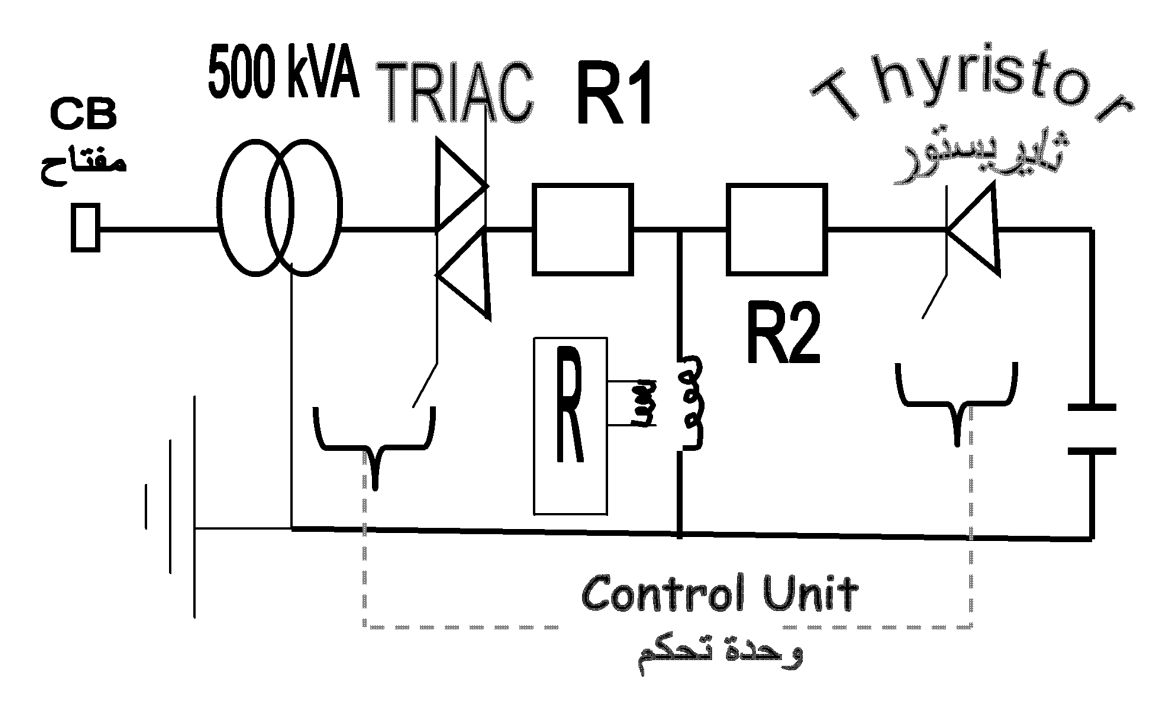


الشكل رقم 4-20 : الشكل الصندوقي لمحاكاة النظم الكهربية

نري من الشكل رقم 4-20 أن الحاسوب الآلي قابل للاتصال بنماذج لنظم كهربائية أخري كما هو مبين بالأسهم المشار بها علي حدود الحاسوب ونشير إلي أن المحول من القيم الواقعية إلي الرقمية (أنالوج / ديجيتال) يخصص لكل وجه أو وحدة واحدة ذات القنوات الثلاث لتتحول قيم الجهد عن طريق محول الجهد (إلي الحالة الرقمية) وهو ما يفضل أن يكون من النوع المكثف تصميما وتتحول أيضا التيارات من خلال محول التيار فتمران علي مكبرات مخصصة لكل منهما وتصل في النهاية بقيمة كبيرة (صورة من القيمة الأصلية بمبدأ التكبير) إلي الجهاز أو المتمم أو غيره من الأجزاء تحت الاختبار ويمكن متابعة كل النتائج من خلال شاشة العرض الموضحة علي الرسم .

عادة ما نحتاج إلي الاختبار لحالة ما إذا كانت النسبة بين كلا من المحاثة والمقاومة كبيرة وتستخدم الدائرة الموضحة في الشكل رقم 4-21 لهذا الغرض فتظهر فيها أن الدائرة تعتمد علي نظام العمل مع الثيرثتور من خلال التحكم الآلي معها للموجات.

يظهر محول بتوصيل دلتا / ستار مؤرضة حيث يعطي الجهود تبعا للمقننات القياسية standard values وهي 11 ك. ف. / (880 أو 660 أو 440 فولت) ويتم اختبار المتمم من خلال محول التيار.



الشكل رقم 4-21 : دائرة مبسطة للحصول علي نسبة الحثعالية مقارنة بالمقاومة

4- 4: المتمم الرئيسي Master Relay

من المبادئ الهامة في التعامل مع مجال الوقاية الآلية لعدد من المعدات والتي تتشابك في الأداء معا مما يلقي بالعبء علينا بضرورة التنسيق في ما بينها حتي لا يفصل تلقائيا قاطعا قبل الآخر أو قد يقوم بالتوصيل قبل الوقت الصحيح، وبناء علي ذلك يهتم المتخصصون في هذا الميدان بالعمل علي تنسيق المتممات وتصنيفها من حيث المسئولية وخصائص الأداء Performance.

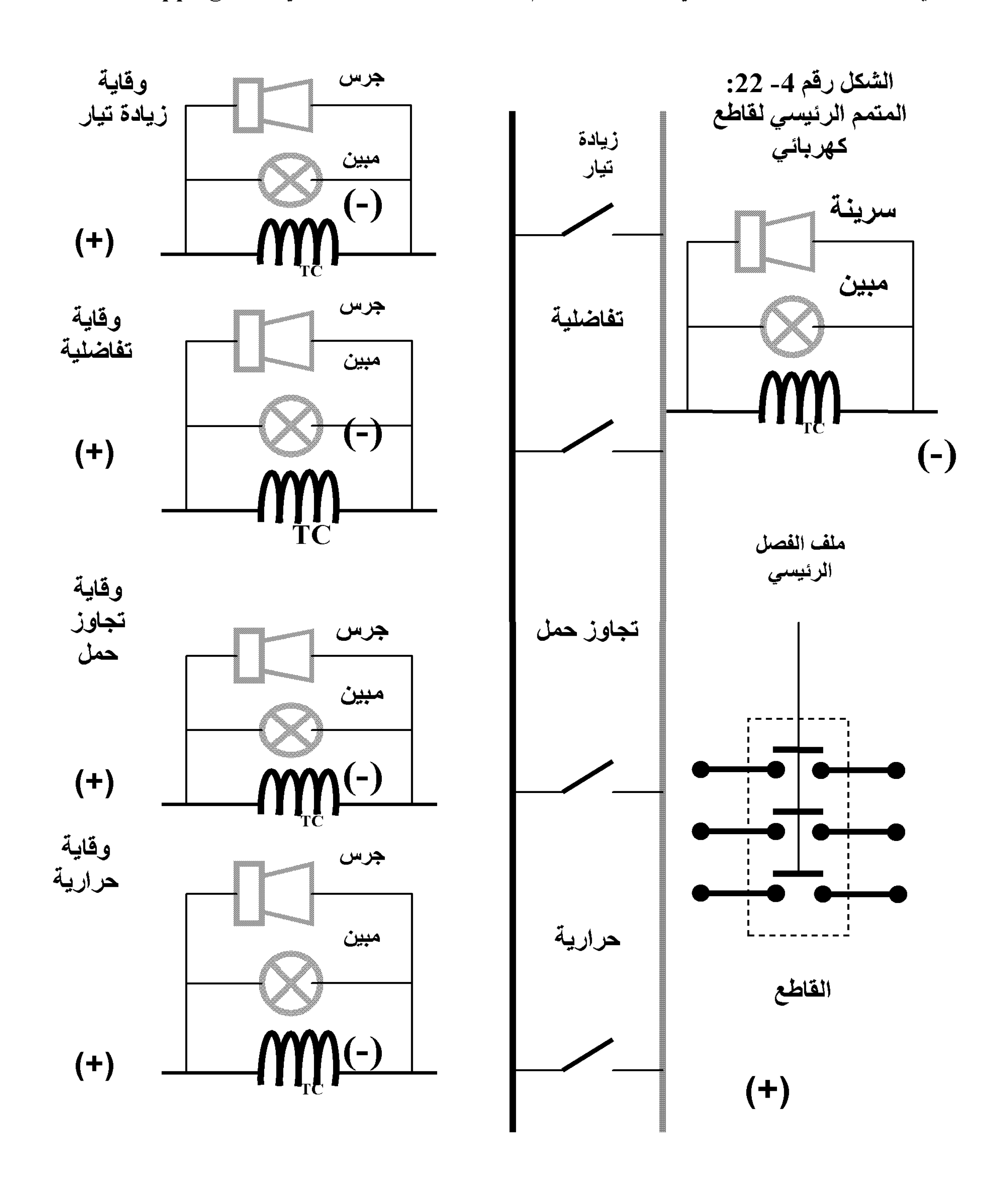
إنطلاقا من هذا تتنوع مكونات دوائر الوقاية من حيث المسميات فنجد في المحولات قد تنوع من محولات جهد P T وأخري للتيار CT ثم نجد من كليهما نوعا آخر لتحسين الأداء وهو المسمي بالمحولات المساعدة auxiliary transformers وقد تم إلقاء الضوء علي الموضوع هذا من قبل في الفصل الخاص بأجهزة القياس.

علي نفس المنوال نجد أن تصنيف المتممات قد تباين من متممات ديناميكية الطابع إلي تلك الإلكترونية الساكنة ثم الأخيرة المتشابكة مع الرقمية Digital وما تبعها من حزم برامجية متخصصة Software وكما تنوعت هذه المتممات من حيث الأداء فقد صنفت أيضا تبعا لعدد الملمسات وطبيعة عملها داخل الدائرة فمنها متعدد الملمسات Multi Contactors وأخري وحيدة الملمسات ومنهم أيضا بناء علي تصنيف حالة الملمسات سواء كانت مغلقة أو مفتوحة الملمسات وهكذا.

علي الجانب الآخر تقوم المتممات Relays بعمل متخصص في أغلب الأحيان تأسيسا علي مبادئ التمييز في دوائر الوقاية ومنظوماتها وبهذا يتخصص كل متمم بأداء عمل لغرض محدد فمثلا هناك المتمم الذي يعمل مع وقاية معينة مثل زيادة التيار أو غير ذلك، مما يجعلنا أن نصبح أكثر تخصصا في التعامل مع كل جزئية من مكونات دوائر الوقاية.

تدعيما لرفع الإعتمادية Reliability لأداء المتممات من أجل غرض وجوده أصبح من الضروري تخصيص متمم رئيسي Master Relay (الشكل رقم 4-22) لكل معدة فصل ألا وهي القاطع Circuit Breaker . ومن ثم يلزم أن يتخصص

أحد المتممات دون غيره بأداء الفصل الفعلي التلقائي لكل قاطع وهذا المتمم الرئيسي هو المسئول عن تلقي طلبات الفصل من أي من المتممات المتخصصة التي تطلب الفصل ليقوم هو بدورة بإعطاء الأمر النهائي للفصل Tripping .



أي أنه لا يجوز تخصيص متمم رئيسي ليفصل المحول والمولد أو غيرهما ولكنه لا بد وأن يكون المتمم الرئيسي مسئولا فقط عن الفصل والتوصيل التلقائي Automatic Switching لقاطع محدد بعينه دون غيره فمثلا إذا ما كان المحول له ثلاث قواطع يكون من الضروري تواجد ثلاث متممات رئيسية لهذا المحول بمعدل متمم رئيسي لكل قاطع وكل منهم يتعامل مع القاطع المنوط به فقط.

مما سبق يتضح أن المتمم الرئيسي يختلف عن المتممات الأخري ويكون ذلك هاما عند تصميمه كما في الشكل رقم 4- 22. من الجهة الأخري نلاحظ وجود الجرس Bell مع ملف الفصل الخاص بزيادة التيار أو تجاوز الحمل بينما يتبدل الوضع بالنسبة لملف المتمم الرئيسي حيث يتواجد معه سرينة Horn وليست الجرس وهذا نوعا مهما من التمييز Discrimination بين حالات الفصل الرئيسي أو التشغيل لدوائر الفصل في دوائر الوقاية. أما بالنسبة لمبينات الإشارة Indicators(المصابيح المبينة ضوئيا) فقد تكون واحدة كهربائية إلا أنه يمكن وضع قواعد التمييز لتوضيح حالات الفصل الرئيسي بشكل بيضاوي Oval بينما تكون الحالات الأخري بشكل مستطيل Rectangular مثلا وليست قاعدة.
بالرجوع إلي الشكل رقم 4-22 نجد أن الدوائر السلمية Ladder Circuits قد ظهرت وهي أسهل الطرق لفهم دوائر الوقاية Protection والتحكم Control بشكل عام ومنها نستطيع التعرف علي أن هذه الدوائر تعمل بطريقة متتابعة وليست في ذات الوقت أي أن دوائر الوقاية تعمل إن كانت لزيادة التيار مثلا وبكل منها ملف الفصل الخاص بالخاصية المحددة له ولغرض الدائرة المعينة ويكون معها ملامسات منها ذلك الملامس الظاهر في الدائرة السلمية والذي يعمل فور مرور التيار بهذا الملف. يبين أيضا أن كل الملامسات المرافقة لكل ملفات الفصل المتخصصة هذه تعمل في دائرة كهربائية علي التوازي بحيث أنه إذا ما تم تشغيل أي من ملفات الفصل المتخصصة ينتقل الجهد الموجب مباشرة إلي ملف الفصل الرئيسي أي ملف الفصل الخاص بالمتمم الرئيسي ليقوم بأداء الفصل التلقائي.

من هذا كله يتضح أنه مع تخصيص غرض الفصل ومع تعميم الفصل عن طريق المتمم الرئيسي يكون نظام التمييز محكما بهدفين هما:

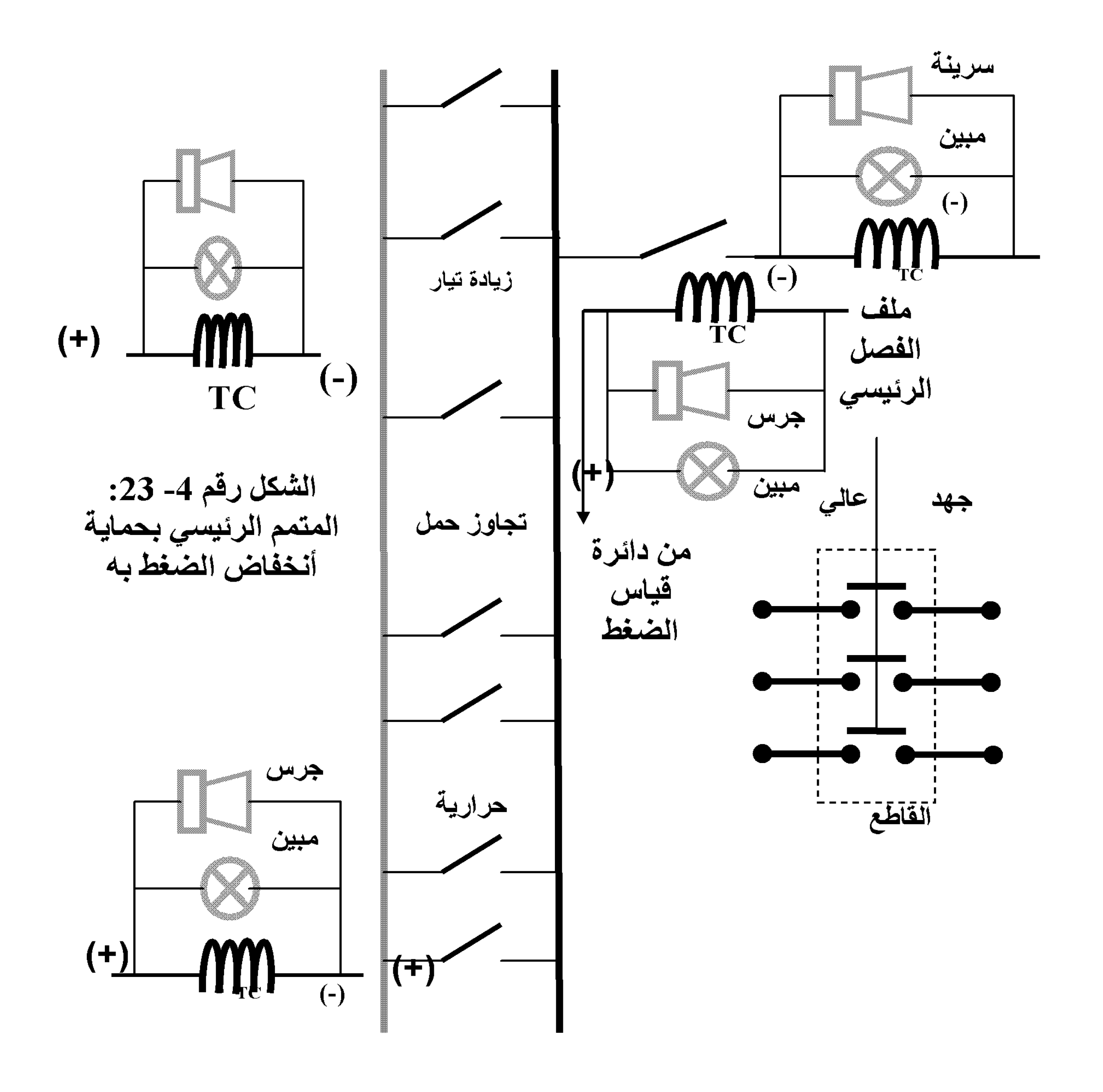
1- تحقيق الفصل بدقة Exact Tripping.
2- تمييز نوعية الخطأ Fault Type المسبب للفصل التلقائي أو إن كانت عدة نوعيات في وقت واحد.

علي الجانب الآخر يقوم القاطع الرئيسي بدائرة الجهد العالي Primary Circuit بالشبكة الكهربائية بفصل تيارات عالية أثناء التشغيل العادي وتزداد قيمة التيارات هذه أثناء القصر Short Circuit وتصبح كميات هائلة من التيار مما قد يتسبب في انفجار القاطع أو تدميره. هذا يحدث نتيجة للطاقة الحرارية المتراكمة داخل غرفة الشرارة Arcing Chamber الخاصة بالقاطع أو بكل غرف الشرارة أو في أي منهم وهذا إحتمال تقني علمي مقرون باجراءات الفصل داخل عملية إطفاء الشرارة ومن خلال ميكانيزم Mechanism الحركة به، وهذه الآلية هي التي تضع أمامنا العقبات في عملية الفصل التلقائي ومن ثم لا يجوز أن نفصل قاطعا كهربائيا لا يستطيع قطع التيار المار هذا.

إنطلاقا من هذه النقطة الهامة نضع التعليمات والشروط اللازمة لفتح الدائرة الكهربائية داخل غرف (غرفة) الشرارة الخاصة بالقاطع، وحيث أن القواطع متنوعة وتعمل بنظريات قد لا تكون واحدة فيكون من الجوهري التأكد آليا من تواجد هذه الشروط.

من أهم هذه الشروط أن يكون القاطع قادرا علي القطع الكهربائي تبعا لمقننات القاطع ذاته ولهذا نجد أن هناك أنواعا مختلفة من القاطع خصوصا للجهد العالي فمنها قواطع الهواء المندفع Air Blast أو تلك التي تعمل بسادس فلوريد الكبريت SF_6 أو الأخري التي تعمل تحت الضغط المخلخل Vacuum وجميعها يحتاج لتوافر هذا الوسط سواء كان مخلخلا أم هواءا مندفعا أو غاز عازل وكلهم يعملون تحت ضغط أما منخفض جدا مثل الأول المخلخل أو عالي مثل الآخرين.

يختل التوازن لقطع الشرارة في الغرف المخصصة لها داخل القاطع إذا ما قلت القيمة للضغط عن القيمة المحددة قياسيا وتبعا لمقننات القاطع ولما كانت هذه القيمة قد تختل لظرف أو لآخر فكان من الجوهري التأكد آليا من توافر شروط الضغط داخل الغرف الشرارية بالقاطع ولهذا السبب يتم وضع مفتاح (قاطع) في دائرة الفصل التلقائية علي التوالي مع مفتاح (الملامس) ملف الفصل الرئيسي كما هو وارد في الشكل رقم 4-23.

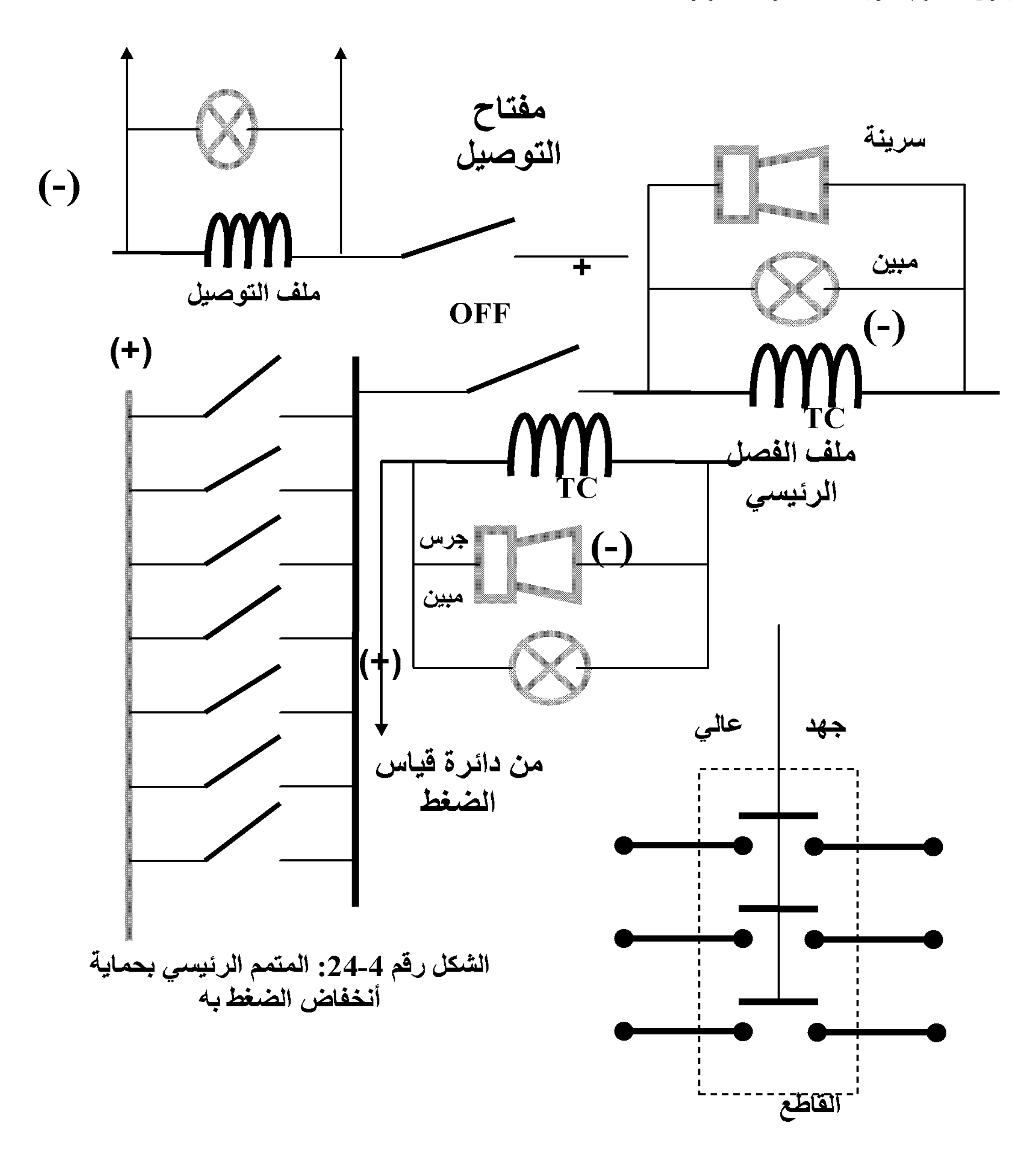


الشكل رقم 4- 23:
المتمم الرئيسي بحماية أنخفاض الضغط به

نري في الشكل أن ملف الفصل القادم عن قياس الضغط لغرفة الشرارة يقوم بفصل الملامس الخاص به إذا ما إنخفض الضغط عن القيمة المقننة وهكذا يكون قد تم وضع نظام لوقاية القاطع ذاته وهو بالتالي الذي يقوم علي حماية الدائرة الكهربائية العامل بها (الجهد العالي).

من الناحية الأخري يعمل القاطع علي الجهد العالي بعدد من الحالات مثل الفصل اليدوي أو الفصل التلقائي Tripping أو التوصيل ON اليدوي أو التلقائي أحيانا فيدعونا إلي تحديد نظاما لأداء القاطع آليا بحيث يربط الفصل والتوصيل التلقائي Automatic وأيضا في نفس الوقت الأداء اليدوي Manual للحالتين وهو ما نراه في الشكل رقم 4-24 حيث نجد أن التشغيل التلقائي يأتي مشروطا بحماية القاطع ضد التيارات العالية إذا ما كانت الحالة غير مطابقة للمواصفات.

علي النقيض في حالة التوصيل لا نحتاج إلي قطع شراري وبالتالي يمكن توصيل القاطع علي ضغط أقل ولكن عند الفصل لن يفصل الدائرة وهنا تأتي أهمية تواجد شرط القياس للضغط سواء كان الوسط مخلخل أو بغاز سادس فلوريد الكبريت أو الهواء المندفع أو حتي زيت المحولات Oil CB وكلها لها شروطها ففي حالة زيت المحولات الشرط لا يكون الضغط بل يكون منسوب الزيت داخل غرفة الشرارة.



الشكل رقم 4-24: المتمم الرئيسي بحماية أنخفاض الضغط به

دائرة الوقاية
PROTECTIVE CIRCUIT

تعنى دائرة الوقاية بتلك الدائرة ذات المهمة المحددة للتخلص من خطأ معين في الدائرة الرئيسية بالشبكة الكهربائية ذات الجهد العالي وهي معرفة فنيا في مجال الوقاية، ولذلك سوف نتحدث بإيجاز عن أهم هذه الدوائر كبداية للتعامل مع هذا المجال المتخصص والذي يحتاج إلي المزيد من التركيز والتحليل والدراسة مع كل تشغيل تلقائي بل ومع كل إشارة قد تحدث دون تشغيل أجهزة الوقاية أو أي منها. كما أن هذا الأسلوب سوف يزيد من الشرح لمفهوم منظومة الوقاية والتي سوف نتعرض لها كموضوع في الفصل القادم.
تمثل دائرة الوقاية النواة الحقيقية في شبكة الوقاية ككل وهي تتنوع وتتباين حسب النوع أو الغرض فمنها دوائر تعمل علي التمييز الزمني ومنها تلك المحددة لمكان الخطأ وكذلك هناك دوائر لتحديد نوع الخطأ وهناك أيضا نوعيات من هذه الدوائر تتعامل مع بعض أو كل هذه النوعيات من التمييز كأجزاء داخل دائرة الوقاية وهو ما سوف ندخل به من حيث المفهوم من خلال هذا الفصل. يدرس هذا الفصل النوعيات المختلفة الأساسية في مجال الوقاية عموما ومنها تلك الوقاية ضد زيادة التيار أو زيادة الحمل أو الجهد أو انخفاض الجهد أو الذبذبة أو تغيير اتجاه سريان القدرة أو قيمة المقاومة المعبرة عن المسافة للخطوط أو غير ذلك من الكميات التي تعبر بطريقة غير مباشرة عن التشغيل غير العادي للشبكة أو القياسات غير المباشرة والتي تشير إلي وجود خطأ ما في الشبكة الابتدائية من حيث المبدأ وغير ذلك من المواضيع الهامة والتي قد تستكمل في الفصل التالي له.

5-1: حماية التيار Current Protection

المقصود هنا ما ينجم عن خطورة التيار ولذلك تكون الوقاية ضد ارتفاع قيمة التيار عن المقنن المسموح به لأنه ضار بالتوصيلات والوصلات والموصلات كما أنه يقضي علي الملفات وكل ما يتعلق بها، ولذلك نأخذ معالجة التيار هنا علي محوري زيادة التيار over current (وهو إما تيار قصر طور من الأطوار أو البعض أو كلهم وإما التيار الذي يتصل مع الأرض) وكذلك زيادة الحمل over load وهي الزيادة التي يسمح بها التصميم للمعدة لفترة زمنية قصيرة وهكذا نتناول موضوع التيار ككل فيما بعد. عند التطرق إلي موضوع زيادة التيار والوقاية من خطورته الناجمة عن وجود خطأ وما يتبعها من خطر داهم علي مكونات الشبكة الكهربائية وخاصة تلك التي تحتوي علي ملفات كهربائية وبها عزل وعليها ضغط حراري مما يزيد من العبء عليها إلي قدرات فوق الطاقة المقننة والمسموح بها، يجب أن نتعامل مع ممانعات الحالات الانتقالية machine transient reactance (Xd') بالنسبة للماكينات وتتمثل في المولدات والمحركات والمحولات وممانعات الجهد الفائق مع البيانات الأساسية التالية:

1- الرسم الخطي للشبكة single line diagram محددا عليه نوع ومقنن مكوناته بما فيها محولات القياس (محولات جهد VT أو محولات تيار CT).
2- القيمة القصوى والأدنى لتيار القصر short circuit level في كل موقع علي الشبكة وكذلك تلك القيم بالنسبة إلي كل جهاز وكذلك بالنسبة لدائرة الوقاية الخاصة بكل منهم
3- منحنيات خواص محولات القياس performance في الدوائر المختلفة للوقاية
4- قيمة المعوقة impedance في كل الشبكة لجميع المكونات في واحدة من الوحدات التالية: (Ω – مئوية – نظام الوحدة p. u.)
5- تيارات البدء starting currents للمحركات المختلفة بالشبكة وزمنها
6- منحنيات التغير لمعدل خفض الأحمال incremental loading علي المولدات لكل واحد من المولدات المتواجدة بالشبكة
7- التيار الأقصى لتحميل أجهزة الوقاية Circuit capacity

8- القدرة الأقصى لمحطة البطاريات battery rating من أجل تغطية أحمال شبكة الوقاية التي تقوم علي عملية الوقاية بالكامل داخل محطة التوليد أو المحولات أو محطات التوزيع وذلك للتأكد من تغطية الأحمال المطلوبة عند فصل القضبان تلقائيا.
9- أقصى قيمة للتيار المعتاد من خلال أجهزة الوقاية

بناءا علي ذلك نجد أنه للحصول علي أقصر وقت تشغيل فصلي tripping للتيار عند أقصى قيمة متوقعة لتيار قصر يجب أولا تحديد قيمة ضبط المتمم relay setting والتأكد عما إذا كان التشغيل سيتم بكفاءة عند أقل قيمة متوقعة لتيار القصر short circuit current كما يلزم رسم منحنيات المتممات وأجهزة الوقاية الأخرى مثل المصهر خصوصا في الدوائر المحورية radial حيث يتم التوصيل علي التوالي in series (الشكل رقم 5-1)، ويكون مناسبا الاستعانة بمقياس للتيار المتوقع عند أقل جهد مرجعي lowest voltage base أو اختيار قيمة مرجعية للقدرة base MVA ومن ثم إختيار تيار مرجعي لكل مستوي جهد علي الشبكة الكهربائية.
جدير بالذكر أن هذه التيارات الزائدة over current عن الحدود المقننة للتشغيل لها من الأضرار التي تجعلنا نتعامل معها كحالة وبائية abnormal condition في الشبكة الكهربائية ولذلك يتم الاستعانة بكل من المصهر fuse أو القاطع breaker المزود بملفات لتجاوز الحمل over load أو بملفات فصل بزيادة التيار أو بالاعتماد علي عمل المتممات relay لفصل القواطع الكهربائية في الشبكات الكهربائية الكبيرة.

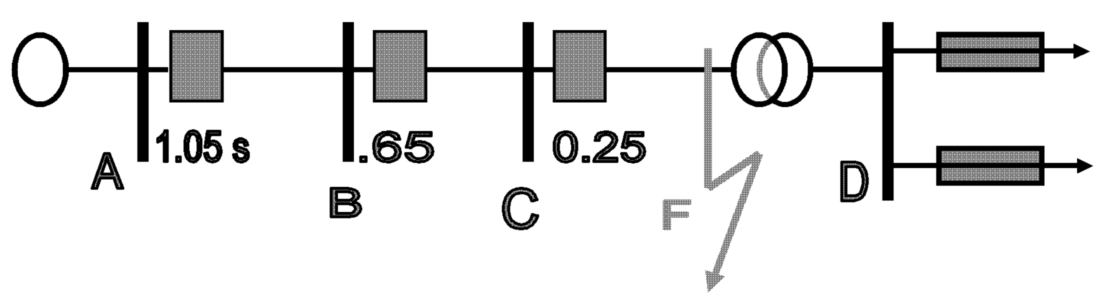
أولا: تيار القصر بين الأطوار Phase Short Circuit Current

التمييز في قواعد الفصل التلقائي بالشبكة ذات التوصيل المتتالي بالنسبة لقيمة التيار كقصر يحتاج إلي عددا من الوسائل التفضيلية وهي (التمييز الزمني Time أو التمييز بقيمة التيار value أو التمييز المختلط value / Time) والنوع الأخير هو الأهم لأنه يشمل الآخرين ومن ثم فإن تنسيق العمل للمتممات العاملة علي وقاية الشبكة تخضع للأسس التالية:

1- استخدام متممات بذات الخواص ومتماثلة similar بقدر الإمكان في النظم المحورية الكهربائية radial لأنها الأنسب من ناحية الشرح والإيضاح لمثل هذا الطابع من العمل.
2- التأكد من ضبط setting قيمة التيار كل متمم بحيث يساوي التيار السابق عنه أو يقل في قيمة الضبط.
أما من جهة التمييز فنتناوله فيما يلي:

1- التمييز الزمني Time Discrimination

التمييز بوجه عام من الضروريات الأولية مع تحديد زمن الفصل ومن المعتاد في كل شبكات التوزيع الكهربائية محورية الطابع ضبط أدني قيمة زمنية للفصل عند 0.25 ث وبالتالي تتراجع القيمة الزمنية لسرعة الفصل بقيمة تقريبية هي 0.4 ث كما هو مبين علي الرسم في الشكل رقم 5-1 فنبدأ حساب ذلك الزمن الأدنى عند أبعد نقطة فصل عن محطة التوليد وتتزايد القيمة الزمنية للفصل تباعا كلما اقتربنا من محطة التوليد عند القضبان A.



الشكل رقم 5-1 : الرسم الخطي لشبكة محورية

من الضروري الإشارةإلي أن المتممات الزمنية لا بد وأن تكون محددة الزمن **definite time relay** حيث تبدأ في أداء وظيفة الفصل جميع المتممات بالشبكة الكهربائية إذا ما وصلت قيمة التيار إلي قيمة الخطأ المحدد وعليه يتم تشغيل كل متممات الفصل علي طول الشبكة ويتم فصل التيار نتيجة الخطأ ويكون زمن تشغيل كل متمم مختلف عن الثاني كما هو محدد علي الرسم. جدير بالذكر أن نتطرق إلي أهم عيوب هذه المرحلات حيث أنه إذا ما حدث هذا القصر بجوار محطة التوليد ومن ثم يفصل المفتاح CB عند المحطة علي زمن هو ذلك المحدد علي الرسم بينما يتم فصل الأجزاء الأخرى بالشبكة عند أزمنة أقل، ويمثل هذا الأسلوب بذلك عبء كبيرا علي المولدات حيث يتأخر فصل المفتاح المجاور للمولد وهو ما يهدد الشبكة ككل. ولذلك لا يجوز الاستعانة بهذا النوع من التمييز من حيث المبدأ وحده حرصا علي سلامة المولد.

2- التمييز بقيمة التيار Current Discrimination

عندما نتناول موضوع التمييز بناء علي قيمة التيار يكون التعامل مع التيار علي محور القيمة **value** فنجد المرجع هنا لزيادة التيار بوحدة الأمبير، ولهذا نري في الشكل رقم 5-2 شبكة محورية وكيفية ضبط قيمة التيار لفصل المفاتيح الكهربائية بالشبكة حيث نجد المولد 250 م. ف. أ. ، 11 ك. ف. بينما المحول بقدرة 4 م. ف. أ. وجهد 11 / 3.3 ك. ف. ومقاومة 7 % علما بأن حدود مستوي القصر هو 180 م. ف. أ.
نضيف كذلك أنه بناء علي زمن الفصل هذا تظهر ثلاث حالات من الفصل وهي في حقيقة الأمر عبارة عن منهج أداء الفصل أو خواص لأسلوب الفصل وهي:

أ) متممات سريعة الفصل *High Speed Tripping*

يعرف الفصل السريع عموما باسم الفصل الفوري **instantaneous** ولكنه لا يمكن من الناحية العملية أن يتم الفصل في زمن صفري **Zero Time** ولذلك فان الزمن اللازم لتشغيل القاطع لأداء الفصل **Tripping** يكون في حدود دنيا بقيمة 0.08 ثانية.

ب) متممات محددة زمن الفصل *Definite Time Tripping*

في حالة المتممات محددة زمن الفصل يكون الفصل خاضعا للعلاقة بين التيار I والزمن t بحاصل ضرب بقيمة ثابتة K طبقا للمعادلة:

$$I \cdot t = K \qquad (5\text{-}1)$$

ج) زمن فصل تعاكسي مع التيار *Inverse Minimum Time Tripping*

عند التعامل مع الزمن غير المحدد وهو ما يعبر عن الزمن التعاكسي مع قية التيار علي نحو مطلق – غالبا - تتغير العلاقة بين التيار والزمن كدالة أسية بالأس n وهي تتغير ما بين 2 و 8 لتصبح كما في الصيغة:

$$I^n \ t = K \qquad (5\text{-}2)$$

عندما تأخذ قيمة الأس قيمة صغيرة يكون هو فصل تعاكسي أما إذا ارتفعت هذه القيمة فيكون شديد التعاكس **very inverse** أو **extremely inverse** وهي الخصائص الأساسية للتمييز الزمني والتي سبق شرحها في الفصول السابقة وهي أيضا سوف تتحدد بذلك تبعا للحالة المطلوبة وهو ما سوف يظهر جليا في الجزء التالي من البند الحالي والخاص بالتيار.
في هذا الشكل نجد أن التيار المار عند كل نقطة خطأ يختلف عن الآخر وإذا أخذنا الجهد الوجهي (الطوري أو الخطي) فيكون 6350 ف كجهد طوري مع الأرض (وحيد الطور) بدلا من 11 ك.ف. (الجهد الخطي) بعد القسمة علي ($\sqrt{3}$) ومن ثم تكون المقاومة المقابلة للخطأ عند F_1 هو

(5-3) التيار = 6350 / (مقاومة التوليد + مقاومة الخط)

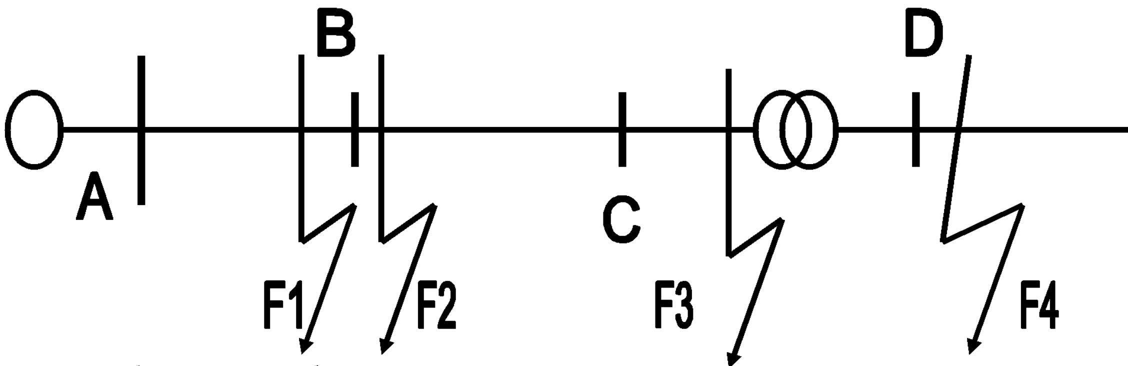
(5-4) التيار = 6350 / (0.485 + 0.24) = 6350 / 0.735 = 8800 أ

حيث مقاومة الخط هي 0.24 أوم ومقاومة التوليد = 11^2 / 250 = 0.485 أوم وبالتالي يصبح بالقيمة

لكن المقنن العملي القياسي لا يمكن أن يزيد عن يزيد عن 6.8 ك. أ. لأن القيمة الدنيا للقدرة في الشبكة في حالات القصر هي 130 م. ف. أ. بينما القصوى هي 250 ولذلك لا يجوز النزول عن قيمة التيار الأدنى وهو المحدد عالية ويصبح هو القيمة بدلا من 8.8 ك. أ. ذلك لأن القاعدة في حساب هذه القيمة يعتمد علي بعضا من الأسس الأولية:

1- لا يمكن أن نقارن بين نقطتين متجاورتين للخطأ (حالات القصر) مثل النقطتين F_1 و F_2 لأن الفرق بينهما لا يتعدى 1 % أو أقل.

2- يقع مقنن الخطأ للمنبع بين 130 و 250 م. ف. أ. وعلي هذا يكون التيار غير صحيح للتمييز بين النقطتين B & C بينما يكون سليم بين النقطتين C & D (الشكل رقم 5-2).



الشكل رقم 5-2 : الرسم الخطي لشبكة محورية مع أوضاع خطأ متعددة

لحساب الضبط اللازم عند حالة القصر في النقطة F_4 نجد أن

(5-5) التيار = 6350 / مجموع مقاومات المولد والخط وخط المحول والمحول

أما عن المقاومات فمقاومة المولد محددة من قبل ومقاومتي الخطين هما 0.24 و 0.04 أما مقاومة المحول فهي:

(5-6) مقاومة المحول = { (11 ك. ف.)^2 / 4 م. ف. أ.} 7 % = 2.12 أوم

بذلك نحصل علي التيار بقيمته

(5-7) التيار = 6350 / 2.885 = 2200 أ

بعد الحصول علي قيمة تيار القصر في هذه النقطة، يجب أن يوضع في الاعتبار قيمة الضبط الأماني اللازم إضافته إلي قيمة التيار المحسوب عند الضبط والذي عادة يفرض في حدود 20 % لتغطية أية أخطاء من تشغيل المتمم وكذلك 10 % للتغير الناتج في مقاومات الشبكة ككل ويكون التيار اللازم للضبط هو كما نراه بالتعبير الرياضي:

(5-8) **تيار الضبط لقيمة الفصل = (120 + 110) % × التيار المحسوب = 1.3 × التيار المحسوب**

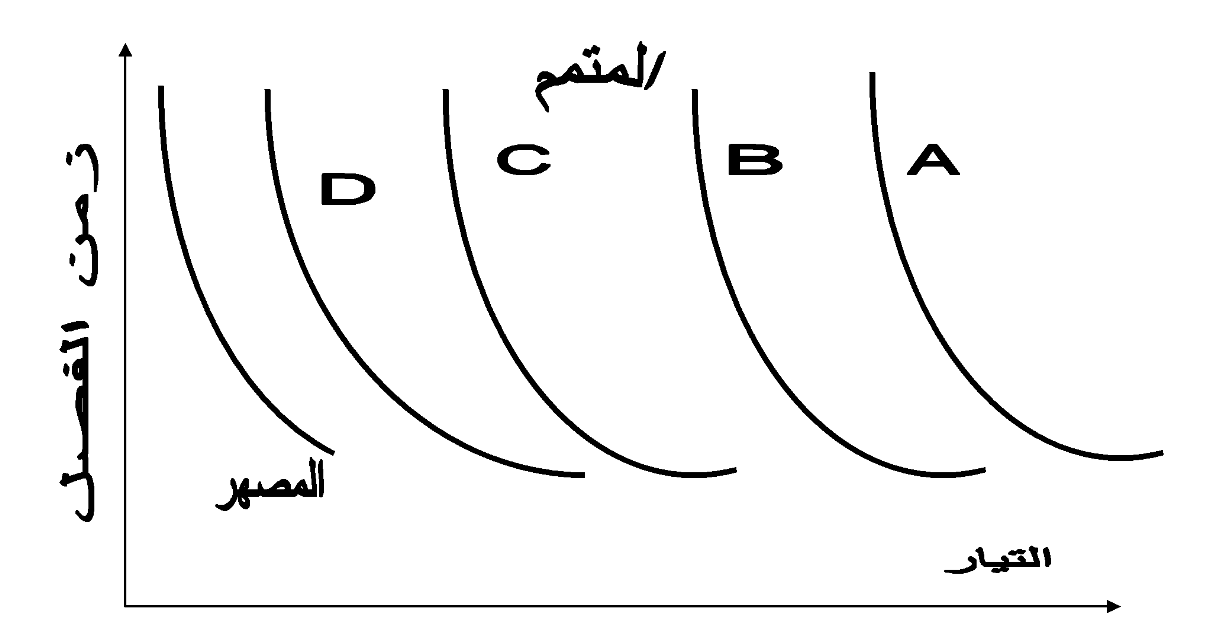
علي الجانب الآخر إذا ما كان القصر عند النقطة F_3 فيكون لزاما علينا إعادة الحساب لقيمة التيار المرادف لهذه النقطة ومن هنا نحصل علي التيار في الشكل

$$\text{التيار} = 6350 / (0.04 + 0.24 + 0.485) = 8.3 \text{ ك.أ} \qquad (5\text{-}9)$$

لكن بتقييم التياربالنسبة إلي القدرة المقننة للمنبع وهو 130 م. ف. أ. نجد القيمة الخاصة بتيار القصر في هذه الحالة قد أصبحت

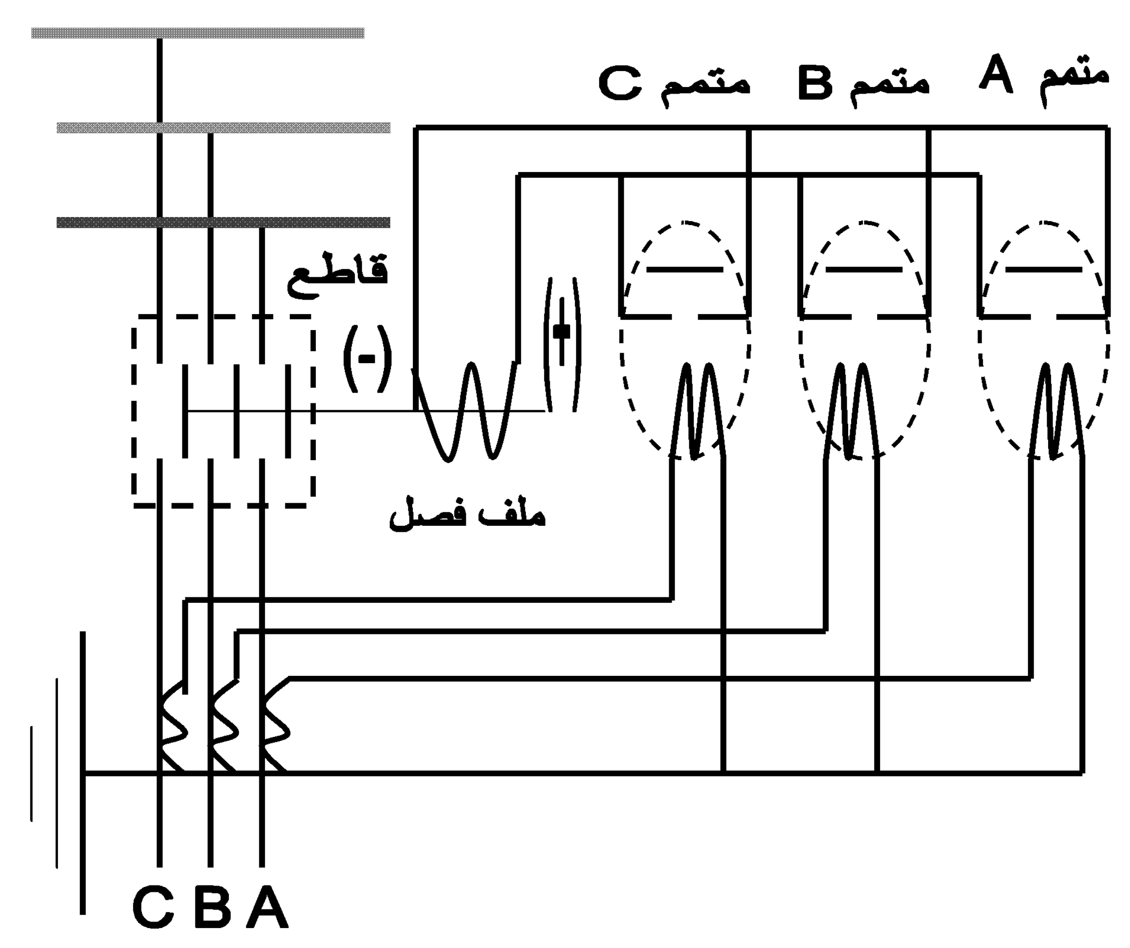
$$\text{التيار} = 6350 / (0.04 + 0.24 + 0.93) = 5.25 \text{ ك.أ} \qquad (5\text{-}10)$$

مما سبق نجد أنه من الأساس لا بد وأن نتعامل مع التمييز المشترك بين كلا من الزمن والتيار لتحقيق الفصل المناسب وهو ما سبق بيانه من حالات تغير زمني مع مراعاة أن يتم تشغيل الفصل التلقائي النهائي لكل متمم قبل الآخر كما هو مبين في الشكل رقم 5-3 فنجد أن المتمم للشبكة في الشكل رقم 5-1 يعتمد علي العمل بطريقة الفصل العكسي مع قيمة التيار كما أن الزمن اللازم للفصل دائما سابقا بالنسبة للمصهر في نهاية الشبكة عند المستهلك علي جهد التوزيع.



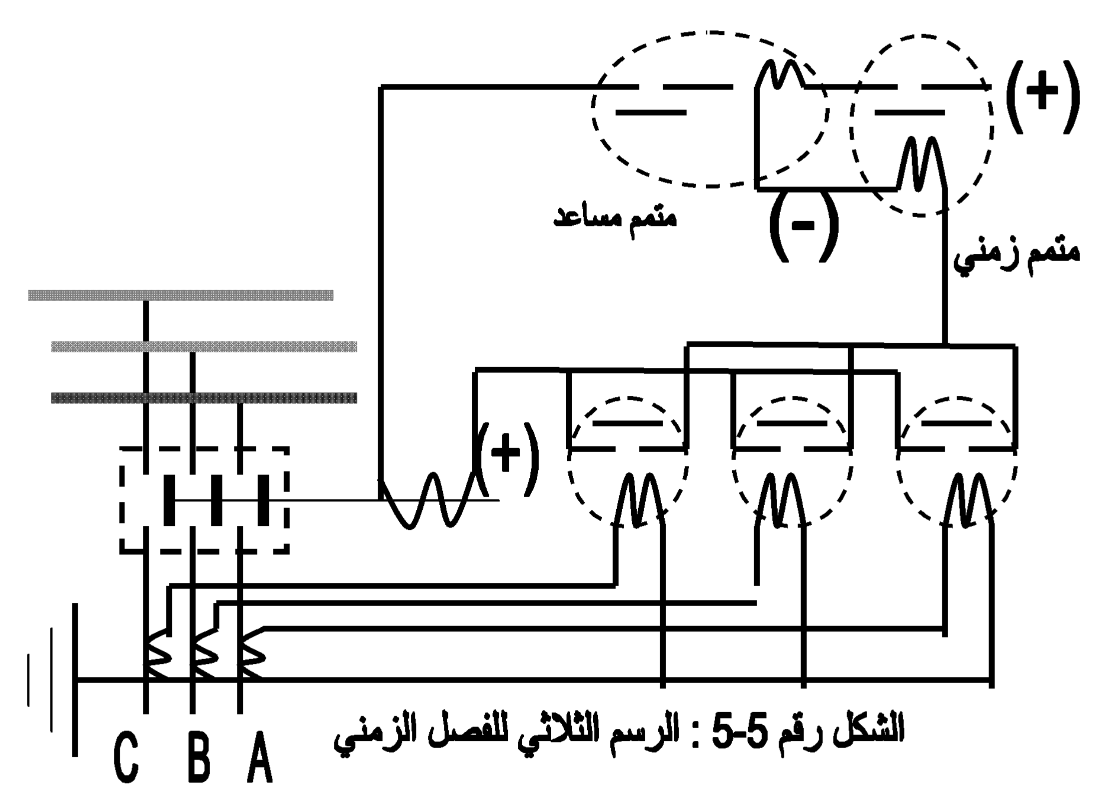
الشكل رقم 5-3 : خصائص الفصل في شبكة محورية

هكذا نتعامل مع متمم زيادة التيار (Over Current) علي محاور متعددة حيث يعطي الشكل رقم 5-4 الرسم الثلاثي لمتمم زيادة التيار علي الثلاث أوجه مبينا كيفية الأداء بكل منهم بينما يتم حساب كل تيار في كل وجه ثم يعطي الأمر للوجه الذي قد يكون عليه القصر أي زيادة تيار. ويتم الفصل بزمن عمل المتمم فقط وإما أن يكون فوريا أو محددا زمن الفصل أو محددا لقيمة التيار وهنا أيضا يكون من السهل معرفة أي الأوجه به خطأ.



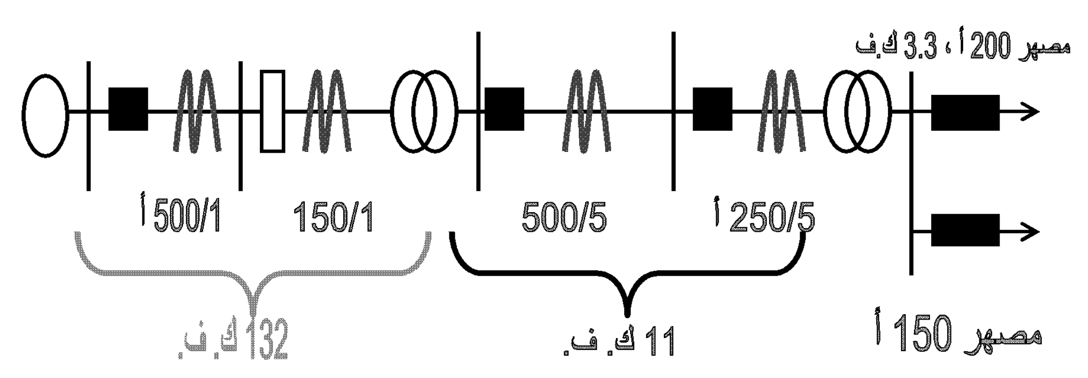
الشكل رقم 5-4 : الرسم الثلاثي لتوصيل متممات زيادة تيار

نري كيفية التحكم في الفصل الزمني من خلال إضافة متمم زمني في الدائرة هذه علي التوالي كما في الشكل رقم 5-5 ومنها نجد إضافة لمتمم زمني timer له الخواص المطلوبة مثل تلك المبينة في الشكل رقم 5-3، أو غيرها من الصفات الأخرى المتاحة، ويكون العمل هنا أن يأخذ أحد أطراف ملف المتمم الزمني الجهد علي التوازي مثل الموجب أو السالب وفي الرسم تحدد القطب الموجب بينما الطرف الثاني يعتمد علي التيار المار في المتمم السابق، وهو أي متمم من متممات زيادة التيار وعلي أي من الأوجه الثلاث. وإذا ما وصل التيار إلي القيمة المحددة للعمل يقفل ملمسه فيصل الجهد علي طرفي متمم الزمن كي يعطي الأمر إلي متمم مساعد *auxiliary relay* والذي يظهر عليه الجهد بالمثل كما حدث مع المتمم أي ملمس المتمم المساعد يكمل وجود الجهد علي هذا الملف الجديد فيغلق ملمسه وهو المتصل بملف الفصل **tripping coil** علي التوالي فيصل الجهد علي طرفي ملف الفصل الخاص بالقاطع الرئيسي بالدائرة الابتدائية.



الشكل رقم 5-5 : الرسم الثلاثي للفصل الزمني

لمزيد من الشرح نأخذ مثالا بسيطا لتوضيح تأثير محولات التيار علي شبكة محورية أيضا كما جاءت في الشكل رقم 5-6 وعليها محولات التيار متباينة المقننات علي جهود مختلفة حيث تحدد علي الرسم كل البيانات الأساسية وهي ما أمكن تحديدها كما جاءت ملخصة في الجدول رقم 5-1.
هذا المثال يسرد التحليل الرياضي المصاحب لخطوات تحديد تيارات (مستوي) القصر وفي النهاية يصل إلي كيفية تعيين ضبط القيمة المرادفة لزمن الفصل في كل حالة من حالات القصر.



الشكل رقم 5-6 : الرسم الخطي لشبكة محورية لتوزيع الأحمال

أما بالنسبة لتأثيرات محولات التيار فيمكننا حسابها كما هو موضحا في الجدول رقم 5-2 حيث نبدأ من طرف نهاية التوزيع أي عند الأحمال تحت الحماية بواسطة المصهر وهنا نتقابل مع نوعين من المقننات للمصهر أو أكثر وعلينا أن نختار القدرة الأعلى للمصهر ليكون هو المرجع لنا عند عمل التمييز للفصل. وبناء على هذا نضع المصهر 200 أ المرجع مع إهمال المصهر 150 أ لأن الأول يتحمل العبء الأكبر وله التيار الأعلي، ومن ثم ننطلق لتحديد مقننات المتممات بعد ذلك خطوة بخطوة في اتجاه المولد ذاته.
نجد أن القدرة عند القضبان D علي مستوي الجهد 3.3 ك. ف. تمثل 3.26 ك. أ. بينما تصبح 1.88 ك. أ. عند 11 ك. ف. وتعطي القراءات القياسية أن 0.2 ثانية كزمن قياسي لها ليصبح بعد المصهر في الخواص وعند القضبان C بمستوي قصر 98.7 م. ف. أ. أي علي جهتي المحول تصبح 17.28 ك. أ. بجهد 3.3 ك. ف. أو 5.18 ك. أ. عند 11 ك. ف. وتعطي الزمن القياسي وهو 0.7 نقطة ضبط للزمن بالثانية.

الجدول رقم 5-1: بيانات الشبكة المحورية

الجزء	المقننات	القيمة للمرجع 10 م. ف. أ.	%
المولد	132 ك. ف، 3500 م. ف. أ.، 1Ω	3500 / (10 × 100)	29
خط جهد عالي	15 كم و 6.2Ω	132^2 /(10× 100× 6.2)	36
محول جهد عالي	30 م.ف.أ. 11/132ك.ف.، 22.5 %	30 / (10× 22)	7.5
الكابل	11 ك. ف. 2 كم 0.24Ω	11^2 / (10 × 100× 0.24)	1.98
كابل توزيع	11 ك. ف. 200 م 0.04Ω	11^2 /(10 × 100 × 0.04)	0.33
محول توزيع	4 م. ف. أ. ، 3.3/11 ك.ف. 7 %	4 / (10 × 7)	17.5

من الجهة الأخري نجد أنه عند القضبان A يجب أن تكون الخواص الزمنية للمتمم من الطراز شديد العكسية ومن ثم نحصل علي الحدود الدنيا والقصوى تبعا للأسس الياضية والتي جاءت موجزة في الجدول رقم 5 - 3 حيث تتحدد القيمة الدنيا بالأعلى السابقة حتى لا يحدث في وقت ما أن تتداخل خصائص الفصل والتي تأخذ الشكل القياسي الموضح في الرسم للمنحنيات المحددة لخصائص المتممات المتتالي في الشكل رقم 5-3 وطبقا للشرح السابق لهذا الرسم.

الجدول رقم 5-2: البيانات الناتجة لشبكة التوزيع

القضبان	محول التيار	حساب مستوي القصر (MVA)	مستوي القصر	الزمن (ث)
A	1/500	(0.29)/(10× 100)	3500	0.25
A	1/500	(0.36+0.29)/(10× 100)	1540	0.25
B	1/150	(0.36+0.29)/(10× 100)	123	0.07
C	5/500	(7.5+ 0.36+0.29)/(10 × 100)	98.7	0.33
D	5/250	(1.98+7.5+0.36+0.29)/(10×100)	35.7	0.07
E	مصهر	+1.98+7.5+0.36+0.29)/(10×100) (17.5+0.33	3.26 1.88	0.2

هكذا يظهر أن الحد الأدنى للقضبان السابق كقدرة قصر هو الأدنى لنا وبذلك يتحدد كل القيم الدنيا والقصوي وزمن الفصل القياسي المرادف لكل منها رياضيا ما جاء في الجدول رقم 5-3 ويضاف إلي ذلك مدى التدرج الزمني وهو ما يحتوي علي أربعة أنواع مؤثرة وجميعها هاما وهي:

الجدول رقم 5-3: حدود القصر في شبكة التوزيع المحورية

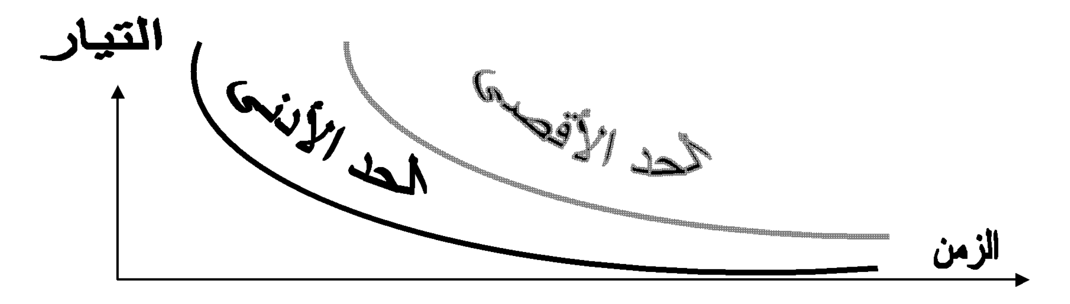
قضبان	قدرة القصر MVA (أدنى / أقصى)	زمن الفصل القياسي (ث)
A	3500 / 1450	0.25 /0.39
B	1450 / 123	0.07 / 0.86
C	123 / 98.7	0.33 / 0.42
D	98.7 / 35.7	0.07 / 0.17

1- زمن فصل القاطع T_{CB} حيث يلزم التأكد الفعلي من تمام الفصل للقاطع المنوط قبل اتخاذ القرار الفعلي لإجراء الفصل الفعلي بالمتمم التالي.
2- الخطأ المتوقع في ضبط زمن المتمم E_R ويقدر الخطأ عموما بنسبة مئوية وهو ذلك الخطأ أو تلك الأخطاء التي تحدث عادة في جميع أجهزة القياس بما في ذلك محولات القياس وخصوصا محولات التيار E_{CT} ويقدر أيضا بالنسبة المئوية وهو ما يمكن أن يكون موجبا أو سالبا ولذلك يجب أن يؤخذ في الاعتبار ذلك بالنسبة لزمن التشغيل العادي T الخاص بالمتمم المنوط به الفصل.
3- مدي زمن تكملة عملية الفصل الآمن t_{CB} (بوحدات الثانية) وهو الزمن المضاف كي نضمن من فصل الإجراء عن ما يليه وهو ما سبق الكلام عنه في النقطة السابقة للحماية ضد زيادة التيار.
4- زمن حركة المتمم t_o المسمى overshoot وهو ما قد يحدث من المتمم عند إلغاء الأمر إذا ما كان المتمم السابق قام بعمله كاملا وقد أتم إجراء الفصل فعليا ويكمل جزءا بسيطا من المشوار بالرغم من إلغائه وقد تكون النتيجة الفصل غير المطلوب هندسيا نتيجة العزم الذاتي (التلقائي) أو بخصائص أجزاء الجهاز الحركي داخل المتمم mechanism ولذلك يجب إبعاد الضبط عن هذه الاحتمالات بأن يضاف زمنا يقابل هذه الاحتمالات ويمنع ظهور تأثيرها إذا ما حدث ذلك فعلا.

من الخبرة العملية يمكن الحصول علي ضبط الزمن المناسب للفصل t بالصيغة:

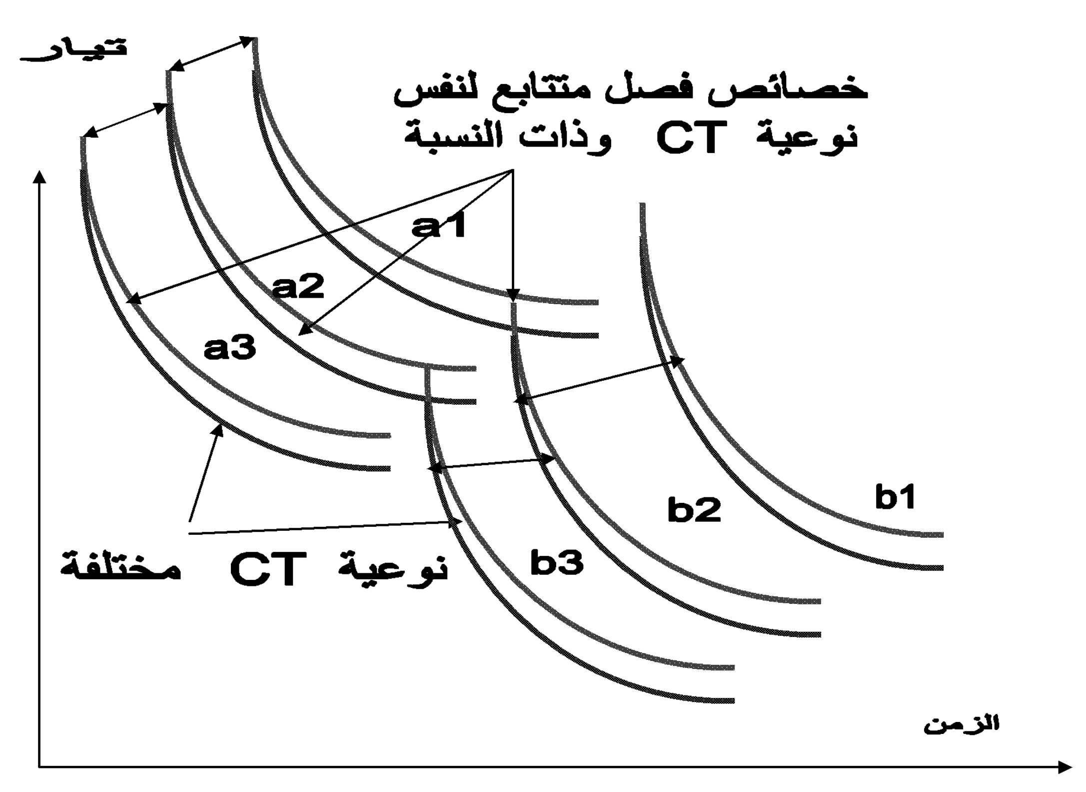
$$t = [(2E_R + E_{CT}) / 100]\, T + t_{CB} + t_o + t_s \qquad (5\text{-}11)$$

تختفي قيمة الخطأ في محول التيار E_{CT} نتيجة الاعتماد علي المتممات ذات استقلالية زمن الفصل المتأخر المحدد والتي تعرف باسم independent definite time delay وبهذا الأسلوب نصل إلي أن العلاقة بين التيار والزمن ليست منحنى واحد بل تتحرك داخل المدي بين منحنيين كما نشاهده في الشكل رقم 5- 7 حيث يظهر الحد الأقصى وكذلك الأدنى نتيجة هذه التغيرات في قيمة الزمن تبعا للمعادلة رقم 5-7.



الشكل رقم 5-7 : العلاقة العملية لخواص المتممات العكسية

إذا ما كانت محولات التيار في شبكة توزيع محورية بذات الخصائص ونفس النسبة نرى أن هذه المنحنيات المتتالية تأخذ نفس الشكل بمدى فرق ثابت علي طول العلاقة بينما عند اختلاف أي من هذه المحولات نري أن المنحنيات المتتالية تتباين في قيمة الفرق بين كل منهم والتالي له (الشكل رقم 5-8) إضافة إلي أن المدى بين المنحنيات لا يهمل عند وضع التتابع الزمني لخصائص الفصل، أي أنه يلزم وضع زمن فاصل بين أقرب خصائص أدني من أعلي التالي والمجاور له في الخصائص، وهو الموضح علي الرسم. لمزيد من التوضيح يجب أن يستخدم ذات النوعية في الشبكة المحورية لضمان الفصل مع الفاصل الزمني بين الخصائص المتتالية. هذا الوضع ضروريا منعا للتداخل بين المنحنيات المتتالية فمثلا يمكن أن يستخدم النوعية (a1 – a2 – a3) المتشابهة معا أو النوعية (b1 – b2 – b3) المتشابهة ولكنه لا يجوز أستعمال المزيج من النوعيتين. من هنا يجب أن نضع الفاصل الزمني للفصل بشرط ألا يتداخل منحني الحد الأقصي للتشغيل مع الحد الأدني لتشغيل القاطع التالي سواء كان قاطع أو مصهر.



الشكل رقم 5-8 : تأثير محولات التيار علي خصائص الفصل

التدرج الزمني للفصل في شبكات التوزيع يعتمد علي مقاومة كل جزء بجانب نوعية كل متمم لزيادة التيار ومحولات التيار أيضا وعندئذ للمتممات الزمنية (المزمن) سواء كانت تلك العكسية أو شديدة العكسية very inverse أو محددة الزمن أو المحددة لأقل زمن فصل inverse definite minimum time حيث أن ذلك يحدد أقل مدي مسموح للتدرج الزمني كما في المعادلة 5- 10 وهو ما يجب وضعه في الاعتبار عند الضبط.

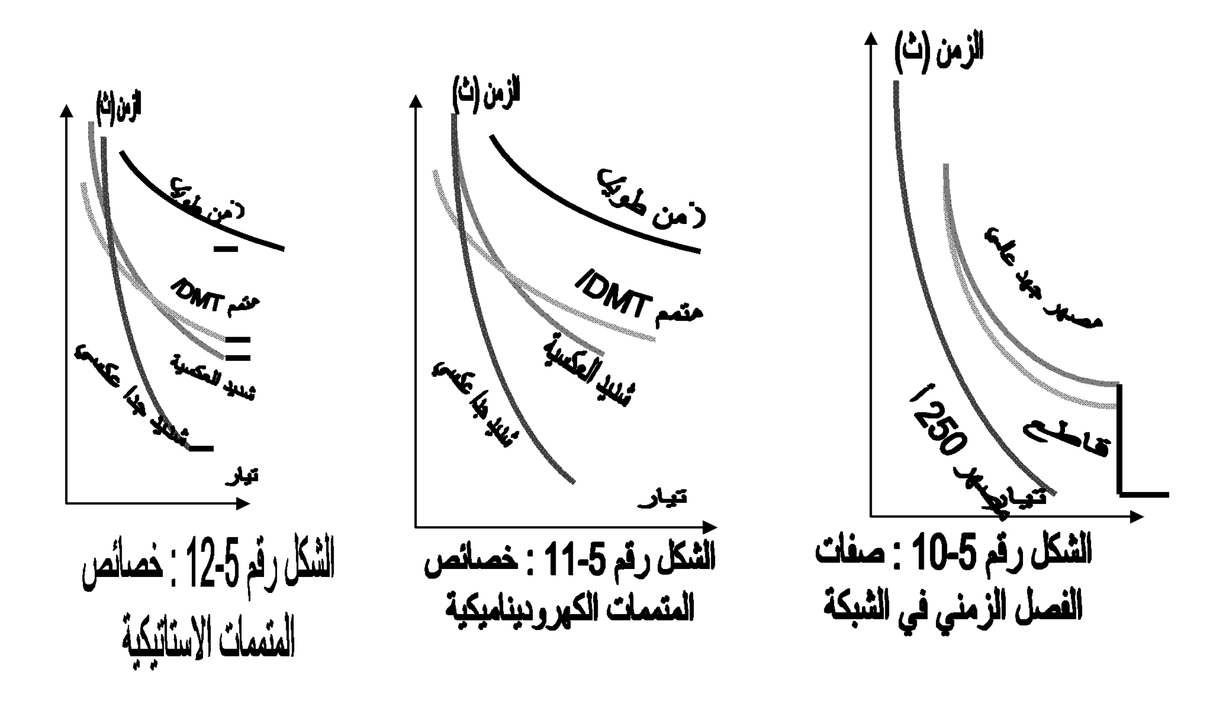
عند تداخل المتممات مع المصهر أو العكس فقد تبينا حالة المصهر في النهاية الطرفية للشبكة ولذلك ندرس الحالة المغايرة وهو كما معطي في الشكل رقم 5-9 وفيها يستخدم متمم واحد علي محول تيار بينما قبله مصهر 75 أ جهد 11 ك. ف. وبعده كذلك مصهر 250 أ جهد 440 ف وبقدرة قصر قصوى قدرها 12 ك. أ.



الشكل رقم 5-9 : الرسم الخطي لشبكة محورية

تصبح الخواص كما في الشكل رقم 5-10 بينما يعطي الشكل رقم 5-11 المنظر العام للخواص لكل من أنواع المتممات المختلفة من المتممات الكهروديناميكية للمتممات الزمنية للقاطع والمصهر وفي الشكل رقم 5-12 جاءت أهم الخصائص الزمنية للمتممات الاستاتيكية.

نحدد العلاقات الرياضية للمتمم بالصفات العكسية القياسية المعتادة **standard inverse** وهي التي تتبع المعادلة:



الشكل رقم 5-10 : صفات الفصل الزمني في الشبكة

الشكل رقم 5-11 : خصائص المتممات الكهروديناميكية

الشكل رقم 5-12 : خصائص المتممات الاستاتيكية

$$t = 0.14 / (I^{0.12} - 1) \qquad (5\text{-}12)$$

وحيث أن هذه أحد الحالات اللازمة للفصل الزمني نجد أن قيمة الأس قد تتغير بدءا من 0.12 إلي 0.02 ولكن هذا الوضع يتغير بالنسبة للمتمم شديد العكسية very inverse فتكون العلاقة هي

$$t = 13.5 / (I - 1) \qquad (5\text{-}13)$$

وأستكمالا للخصائص الزمنية بالنسبة للمتمم حاد العكسية extremely inverse فتأخذ الصيغة الزمنية المغايرة علي النحو

$$t = 80 / (I^2 - 1) \qquad (5\text{-}14)$$

أما بالنسبة للمتمم طويل المدى long time standby فينخفض معامل الحدة ونحصل علي المعادلة الحسابية للفصل الزمني في الصورة

$$t = 120 / (I - 1) \qquad (5\text{-}15)$$

في جميع الأحوال يجب أن يتحدد زمن ثابت لضبط المتمم واعتبار الخطأ فيه موجب من ناحية وسالب من الأخرى ولا يجب أن يزيد الخطأ عن 7.5 % من الزمن الفعلي للفصل، ويشير الرسم (الشكل رقم 5 – 11) إلي أن المتممات الديناميكية قد تختلف في نوعية الفصل حيث يكون محدد القيمة بالنسبة للمتممات الاستاتيكية(الشكل رقم 5 – 12).

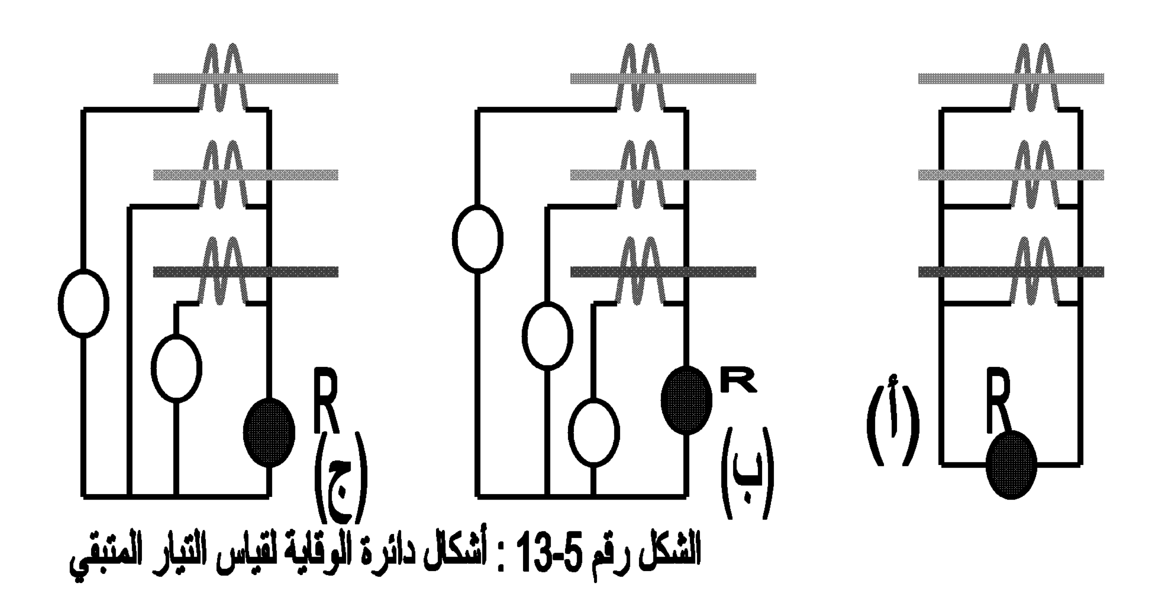
ثانيا: التيار الأرضي Earth Current

متمم التيار الصفري (الأرضي) من أهم أنواع الوقاية الأساسية سواء في الشبكات الكهربائية أو في شبكات التوزيع والأبنية المنزلية أوالصناعية نتيجة أنه يقوم علي قياس نوعين مختلفين من التيارات وهي تيارات لها تأثيرات ضارة علي الإنسان والأجهزة والمعدات:

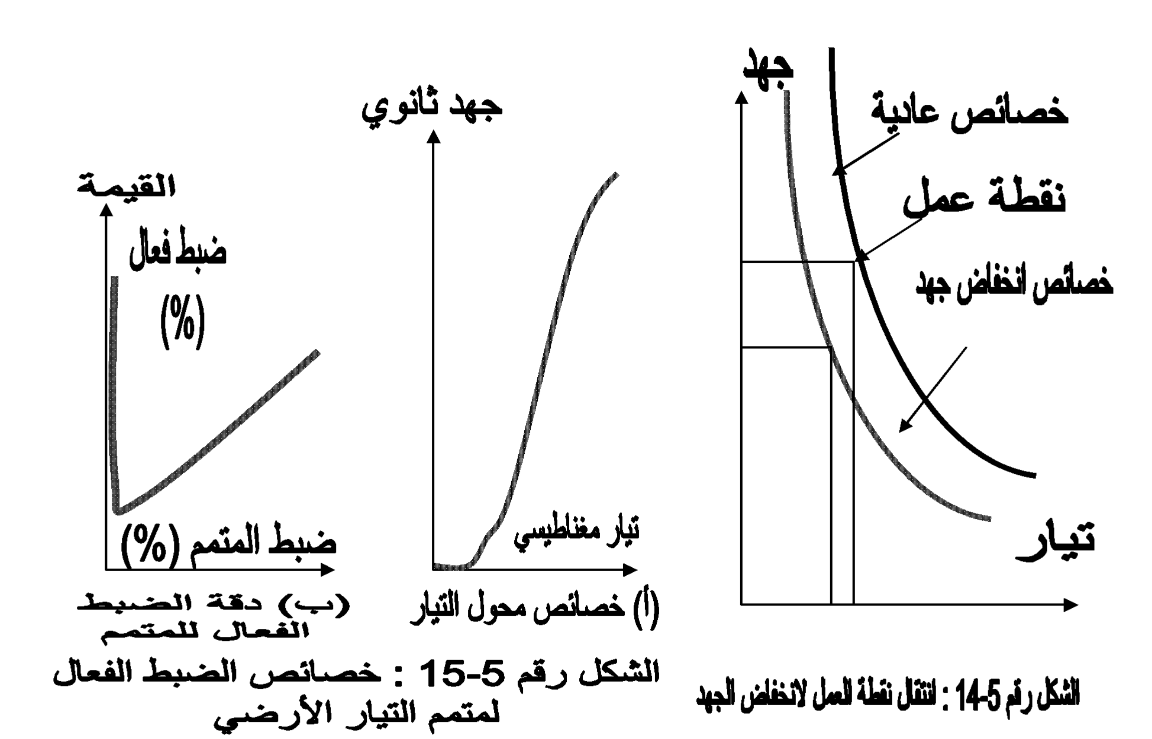
النوع الأول: متمم التيارات المتبقية Residual Currents

هذا النوع يقيس التيارات المتبقية المعبرة عن التيار المار إلي الأرض أثناء حدوث الخطأ fault وهو لا يتأثر بتيارات الأوجه حيث تستخدم المتمم R في الدائرة المبينة بالشكل رقم 5-13 حيث أن الأكثر شيوعا تطبيقا (في الميدان العملي) هي تلك الدائرة في الشكل 5-13(ج) حيث يتم توفير متمم من الدائرة (تقليل عدد المتممات بواحد) وتعطي نفس الكفاءة والأداء كاملين، ولكن هذا النوع من المتممات التي تتميز بالقدرة علي تحديد ما إذا كانت هذه التيارات متماثلة balanced أم لا ولهذا يتم ضبط المتمم عند حدود معينة لعدم اتزان الشبكة وهي عادة تأخذ نسبة ضئيلة من التيارات القصوى للحمل إضافة إلي أن التيارات المتسربة إلي الأرض لا بد وأن تضاف إلي التيارات المتبقية عند الضبط. كما يمكن ضبط متمم التيار الأرضي علي مستوى منخفض لأنه دائما ما تكون الأخطاء مرتبطة بالأرض وهي تعتمد في نفس الوقت علي نظم اتصال نقطة التعادل neutral للشبكات الكهربية مع الأرض.

هناك بعض التأثيرات التي تربط كلا من تيارات الأوجه وتيار الأرضي والتي تتناول خصائص محولات التيار ولذلك يجب أن يدخل في دائرة قياس التيار الأرضي محولات تيار أكبر عن تلك اللازمة لتيارات الزيادة في القيمة نتيجة القصر والسابق الحديث عنها، كما لا يتوقف الأمر عند هذا الحد بل أن الجهد العامل علي الشبكة ينخفض بشدة مما ينقل نقطة العمل operating point بالنسبة لمحولات التيار إلي مستوي منخفض عن مثيله العامل عند الجهد المقنن ويزيد هذا التأثير عند انخفاض الجهد عليه والدوائر المتصلة علي التوازي معه (الشكل 5-14). نضيف أيضا أن تراكم الفقد في التيار المغناطيسي بمحول التيار بدائرة متمم تيار الأرضي وبتلك المجاورة له والمتصلة علي التوازي قد يصل فيها مجموع الفقد المغناطيسي بنقطة العمل إلي حد بعيد عن تلك الحقيقية خصوصا مع الضبط للتيار I_s والجهد Vs حيث تكون العلاقة الرياضية بينهما تابعة للمعادلة



الشكل رقم 13-5 : أشكال دائرة الوقاية لقياس التيار المتبقي



الشكل رقم 15-5 : خصائص الضبط الفعال لمتمم التيار الأرضي

الشكل رقم 14-5 : لانتقال نقطة العمل لانخفاض الجهد

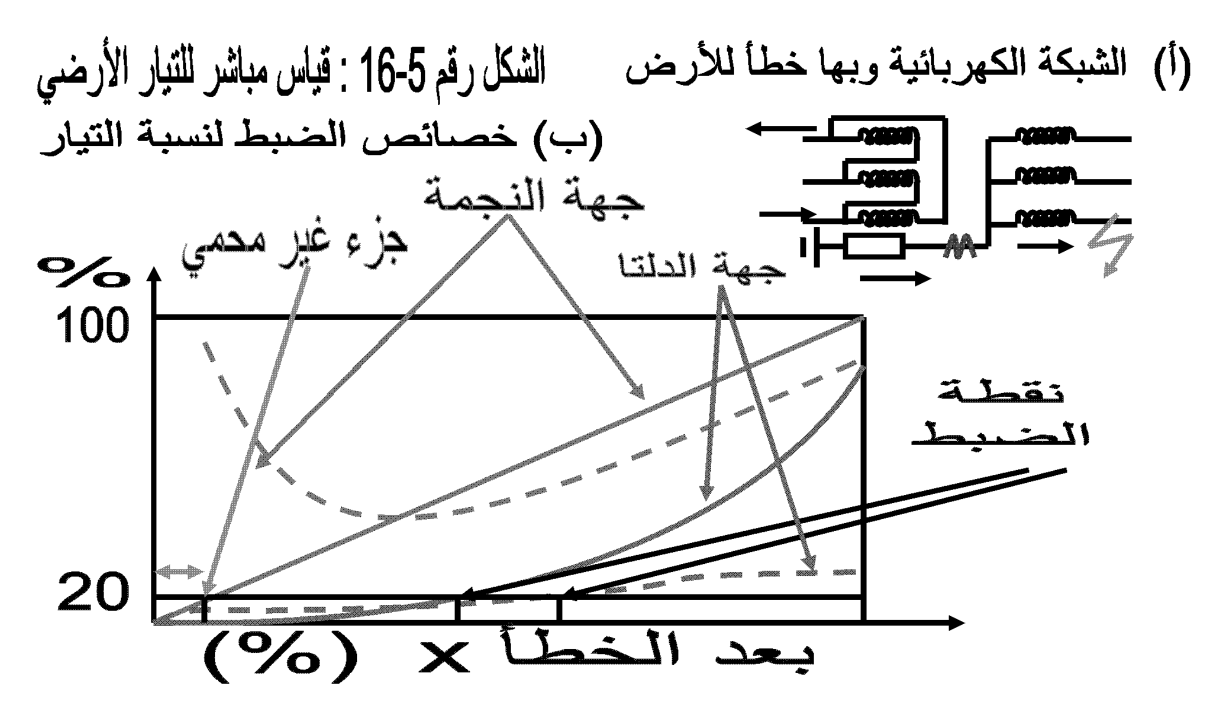
$$\text{effective } I_s = \text{relay } I_s + \text{total exciting current} \qquad (5\text{-}16)$$

يكون هذا المجموع بالمتجهات vectors بالنسبة للمتممات الاستاتيكية بينما يقرب إلي جمع جبري مع المتممات الكهروديناميكية لقرب معامل القدرة فيها من الوحدة ويعبر الجدول رقم 5-4 عن دقة ضبط متمم قياس تيار الأرضي وعلاقته مع التيار المغناطيسي I_e المستهلك بمحول التيار، لهذا نتعامل مع تيار الأرضي الذي يساوي مجموع التيارات بالأطوار الثلاثة في الشبكة الكهربائية الفعلية العاملة. بالنسبة لتدرج الفصل الزمني لتيارات الأرضي نتبع نفس القواعد الخاصة بمتممات زيادة التيار مع الأخذ في الاعتبار أن الخطأ الناتج عن انخفاض الجهد والفقد في محولات التيار المتوازية معه كهربيا تزيد من الفارق بين أقصى تيار وأدنى قيمة للتيار في خواص التشغيل.

يقدم الشكل 5-15 تأثير التيار المغناطيسي علي ضبط متمم التيار الأرضي وعلاقته بالجهد الثانوي بالدائرة.

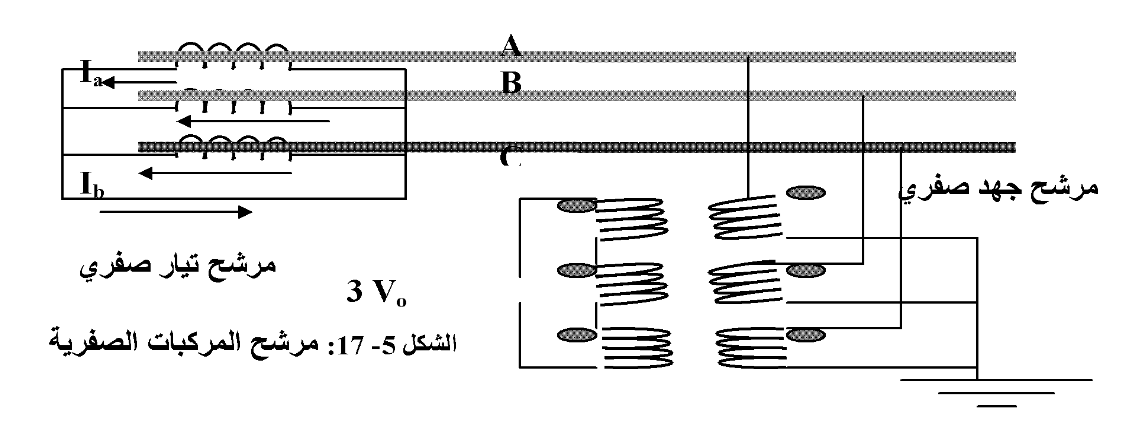
الجدول رقم 5-4: الضبط الفعال لمتمم تيار الأرضي

تيار (أ)	ضبط تيار(%)	ضبط جهد(ف)	I_e (أ)	$3I_e$ (أ)	تيار فعال (أ)	ضبط فعال (%)
0.25	5	12	0.58	1.75	2	40
0.5	10	6	0.4	1.215	1.715	34.3
0.75	15	4	0.3	0.9	1.66	33
1	20	3	0.27	0.81	1.81	36
2	40	1.5	0.17	0.51	3.51	50
3	60	1	0.12	0.36	3.36	67
4	80	0.75	0.1	0.3	4.3	86
5	100	0.6	0.08	0.24	5.24	105



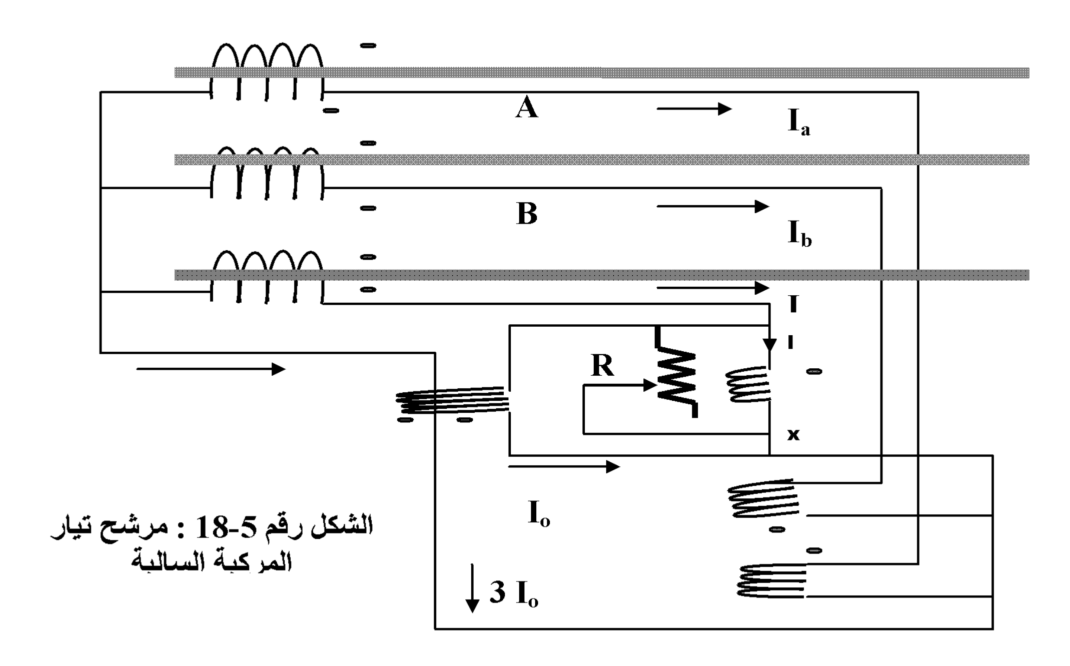
تشير هذه الخصائص إلي ضرورة وضع هذه الصفات غير الخطية في الاعتبار عند الضبط وأن العملية الفعلية لا تتوقف علي حساب التيار فقط بل علي أزمنة الفصل وضبطها لتلافي العيوب الفنية في طبيعة عمل الأجهزة الداخلة في دائرة الوقاية، ويبين الشكل رقم 5-16 أن التيار الأرضي يعتمد علي مكان الخطأ وكذلك قيمة مقاومة الخطأ والتي تدخل في الاعتبار في

قيمة التيار مسبب الفصل وكذلك تؤثر قيمة مقاومة الأرضي بين مقاومة التعادل والدائرة المكافئة للأرض ذاتها علي نسبة الجزء غير المحمي من المحول بطريقة التيار الأرضي، كما يظهر أن طريقة قياس تيار الأرضي إما أن تعتمد علي مجموع التيارات في الأوجه الثلاثة مثل الشكل رقم 5-16 (أ) أو الشكل 5-17 علي القياس المباشر لقيمة التيار المار إلي الأرض مثل الشكل رقم 5-16. أيضا تشير العلاقات بالخط غير المتقطع عن حالة وجود مقاومة بين نقطة التعادل والأرض بينما تبين الخطوط المتقطعة حالة التوصيل المباشر بين نقطة التعادل والأرض ويظهر من الرسم أن التيار الأرضي يتناسب مع كلا من مقاومة الأرضي والبعد عن موقع المتمم الأرضي.



الشكل 5- 17: مرشح المركبات الصفرية

جدير بالذكر أن مرشح التيارالصفري والذي جاء في الشكل رقم 5-18 يعبر تماما القياس المباشر للتيار للمركبة السالبة من مركبات التحويل الثلاثي للنظم ثلاثية الطور في الشبكات الكهربائية وذلك من خلال خط التعادل بينما تظهر المقاومة التي تحدد قيمة ضبط التيار من أجل الفصل التلقائي.



الشكل رقم 5-18 : مرشح تيار المركبة السالبة

مثال 5- 1:

حمل قدرة 10 م. ف. أ. ، 12 ك. ف. لا يسمح بتغير أكثر من 10 % من المركبة الصفرية للتيار ومن المفروض أن يخرج من الخدمة إذا ما وصلت قيمته خارج هذه الحدود. المطلوب تصميم مرشح تيار صفري للبحث عن هذا الوضع.

الحل:

أولا نحتاج إلي حساب الحمل المقنن وهذا التيار I_{rated} هو ما يجب أن يكون بقيمة الوجه وليست القيمة الخطية وذلك تبعا للقيمة

$$I_{rated} = \frac{10}{0.12\sqrt{3}} = 481 \;\; A$$

وبعد ذلك يكون المطلوب هو إيجاد القيمة الفعالة للتيار الصفري (القيمة الأقصي) I_{omax} والتي تساوي 10% من التيار الفعلي وبهذا نحصل علي

$$I_{omax} = 48.1 \quad A$$

هكذا وبناء علي قيمة التيار المقنن نختار محول تيار بنسبة 500 / A5 وباستخدام الدائرة المبينة عند I_{omax} يكون خرج المرشح هو 3 (0.481)= A 1.443 ونختار متمم زيادة تيار يكون له قيمة اللقط هي A 1.4 . علاوة علي ذلك فان المعادلات الرئيسية للتحويل بين المركبات الصفرية لهذا التيار تخضع للتعبيرات الرياضية

$$I_o = (1 / 3)\,(I_a + I_b + I_c)$$

أو التحويل العكسي في الصورة

$$(I_a + I_b + I_c) = 3\, I_o$$

وبالمثل تتم التحويلات الرياضية عموما بالنسبة للجهد من خلال المعادلتين:

$$V_o = (1 / 3)\,(V_a + V_b + V_c)$$

$$(V_a + V_b + V_c) = 3\, V_o$$

بينما تكون الملفات لها قيمة حثية متبادلة بقيمة $X_{ac}= X_{bc}=X$ ولها الحث الذاتي بقيمة $X_s = k\,X$ وللضبط نضع أميتر بدلا من المتمم ومع استخدام المقاومة النقية R يمكن ضبط القراءة صفر مع المركبة الموجبة للتيار عن طريق تغيير قيمة المقاومة النقية وعندئذ يكون التوازن في الدائرة تبعا للمعادلة

$$I_c\, R = j\, I_a\, X - j\, I_b\, X \;,\; R = X$$

يظهر من ذلك أن المتمم لو أعيد مكانه لن يقرأ أية قراءة سوى الصفر مادام التيار هو المركبة الموجبة فقط ومن الدائرة نحصل علي المعادلات التي تخص التيار ثلاثي الطور في الشكل:

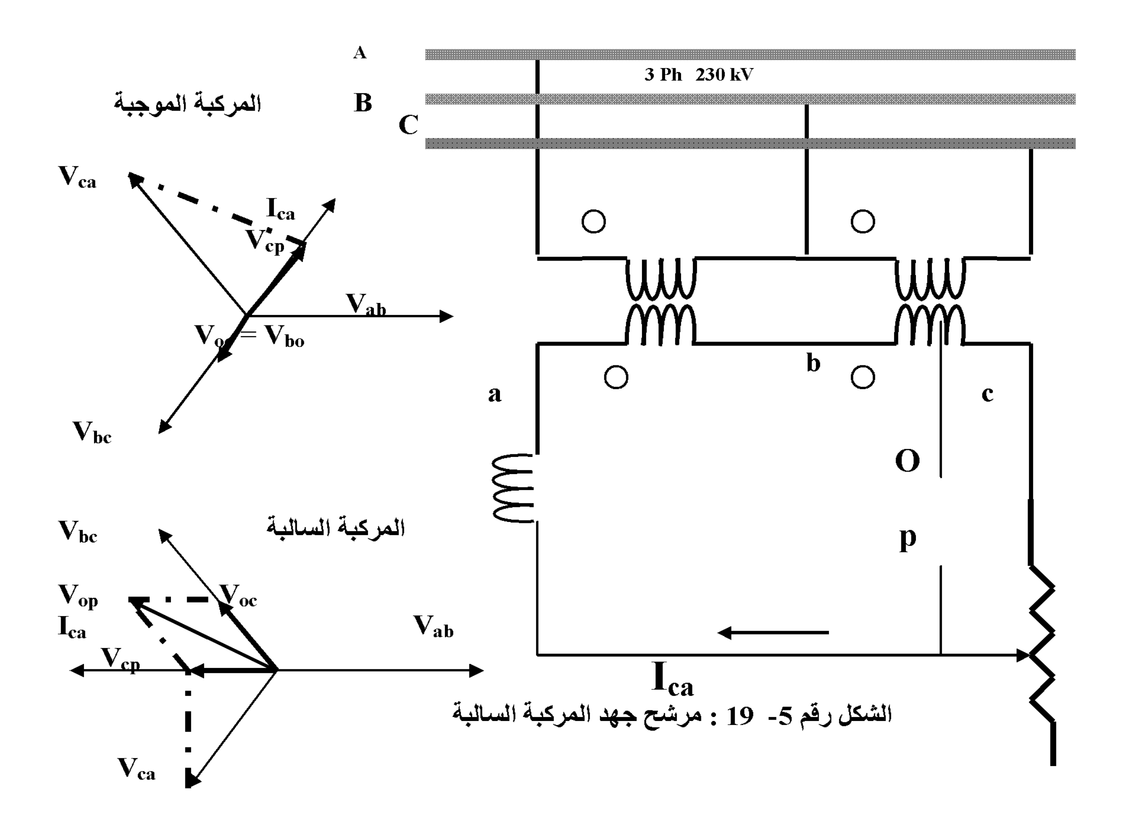
$$(I_c - I_o - I)\, R = j\, I_a X - j\, I_b X + j\, I\, k\, X$$

أي أن

$$(I_o + a\, I_1 + a^2 I_2 - I_o - I)\, \sqrt{3}\, X = j\, X\, (I_o + I_1 + I_2 - I_o - a\, I_2 - a^2 I_1) + j\, I\, k\, X$$

أو

$$\sqrt{3}\, (a\, I_1 + a^2 I_2 - I) = j\, (1 - a^2)\, I_1 + j\, (1 - a)\, I_2 + j\, I\, k$$



الشكل رقم 5- 19 : مرشح جهد المركبة السالبة

حيث أن هذه المعادلات يجوز تبسيطها في الشكل

$$\sqrt{3}\, a = j\, (1 - a^2) \quad \& \quad \sqrt{3}\, a^2 I_2 - \sqrt{3}\, I = j\, (1 - a)\, I_2 + j\, I\, k$$

ومن ثم نصل إلي الصيغة

$$\sqrt{3}\, a^2 - j\,(1 - a) = 2\sqrt{3}\; a^2 \;\&\; (\sqrt{3} - j\,k)\, I$$

$$= 2\sqrt{3}\, a^2 I_2\; j\,(1 - a)\, I + j\,k$$

ثم نجد أن التيار هو

$$I = [(2\sqrt{3}\; a^2) / (\sqrt{3} + j\,k)]\; I_2$$

هذا يعني أن مرور تيار في القطعة xy سوف يكون نتيجة المركبة السالبة ومن ثم يتم وضع المتمم في هذا المكان ليكون حساسا للتيار من المركبة السالبة (أنظر الشكل رقم 5-18)

جدير بالذكر وبالرجوع إلي الرسم المتجهي في الشكل رقم 5 – 19 نجد أن المعادلات الحسابية الأساسية يمكن أن توضع بالنسبة للجهد الصفري في الصورة

$$V_{an} = V_{bn} = V_{cn} = V_o$$

حيث أن الجهد الخطي بين كل وجهين يأخذ الشكل الرياضي:

$$V_{ab} = V_{an} - V_{bn} = 0$$
$$V_{bc} = V_{bn} - V_{cn} = 0$$
$$V_{ca} = V_{cn} - V_{an} = 0$$

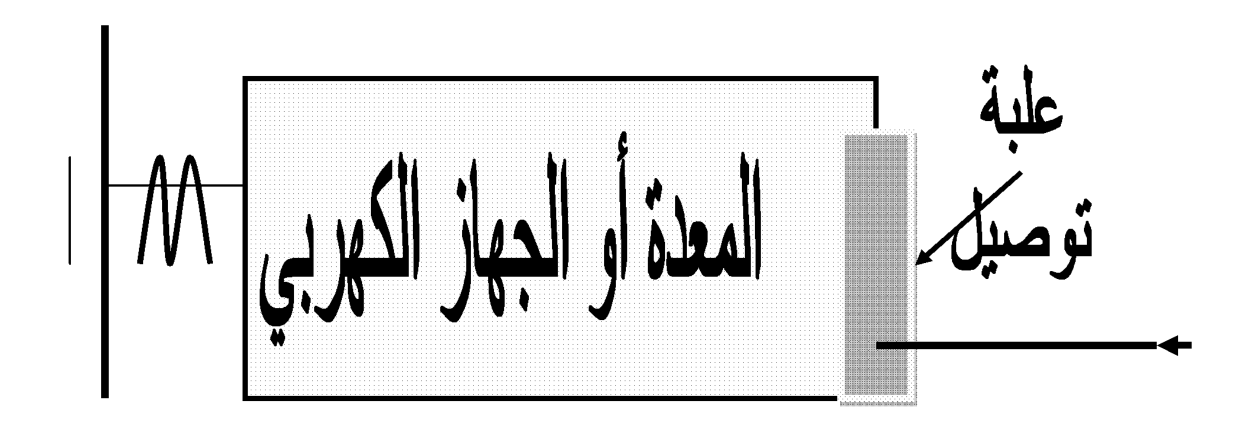
علما بأن العلاقة بين الجهد الخطي (بين طورين) وجهد الوجه مع الأرض هي

$$V_{ab} = V_{bc} = V_{ca} = V_1\,\sqrt{3}$$

وذلك يعني أن مركبة الجهد السالبة يمكن قياسها ومعايرتها من الدائرة المبينة في الشكل رقم 5 – 19.

النوع الثاني: متمم تيارات التسرب للأرض
Earth Leakage Currents

يختلف هذا النوع من التيارات عن تلك السابقة لأن التيارات المتسربة إلي الأرض تعتمد علي ما يسمى باسم جهد التلامس touch voltage ولذلك نجد هذا النوع قد يسمى تيار التسرب من الأجسام المعدنية إلي الأرض Frame Leakage Current كما هو موضح في الشكل رقم 5-20.



الشكل رقم 5-20 : قياس تيار التسرب الأرضي

هذا الشكل يعطي منظرا عاما لما ذكر من ناحية تأريض المعدات حيث نجد محول التيار موصلا بين جسم المحول أو الماكينة الكهربية والنقطة الصفرية للأرض (التأريض) وهي تلك الوصلة التي يمر بها تيار التسرب إلي الأرض وهو غير ذلك تيار الخطأ ولكنه يمثل خطورة إذا ما تخطى حدودا معينة وهو من أهم المتممات التي تستخدم مع الأجهزة الدقيقة وعند التعامل مع الأطفال في رياض الأطفال والملاهي مثلا أو في المعامل المدرسية وما شابه ذلك.

هكذا تتباين هذه الدائرة عن تلك السابقة والخاصة بمتممات زيادة التيار وعن قياس تيار الأرضي من حيث الجوهر وهي بذلك تكون لها حدودا فنية كما تعتمد أغلب التقنيات المستعان بها في هذا الصدد علي أسلوب المتممات التفاضلي وهو ما سوف نراه فيما بعد من هذا الفصل بشيء أكثر من التفصيل والتوضيح، ويعطي الجدول رقم 5-5 بيانا بقيمة التيار المتسرب إلي الأرض تبعا لقيمة مقاومة التأريض.

الجدول رقم 5-5: مقننات التيار المتسرب تبعا للقيمة القياسية

مستوى الحساسية	تيار التسرب (أ)	المقاومة (أوم)
منخفضة	20 10 5 3	2.5 5 10 17
متوسطة	1 0.5 0.3 0.1	50 100 167 500
عالية	0.03 0.012 0.006	أكبر من 500

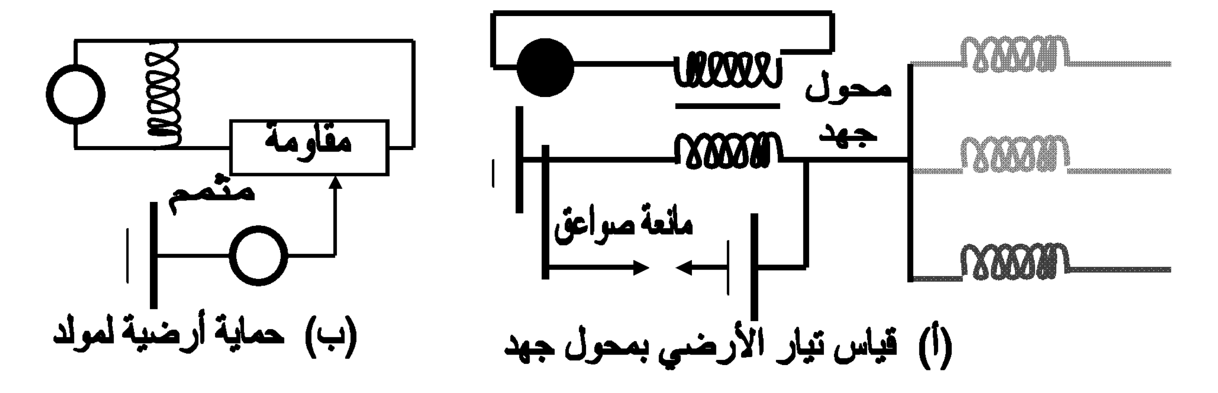
من المعروف أن مقننات الأجهزة الكهربائية المعتادة ذات مستوي منخفض من حيث أدوات الوقاية أو التحكم فنجد تيار التسرب لجهاز الفاكس يتراوح بين 0.5 و 1 ميلي أمبير بينما للطابعة أكبر من 1 والحاسوب الإلكتروني بين 2 و 1 وآلة تصوير المستندات بين 1.5 و 0.5 ميلي أمبير وعلينا للضرورة أن نضع بعض الرموز الهامة والتي تتعلق بهذه المتممات

من حيث تأثير البيئة الخارجية عليها أو تأثير تلك الملحقات بالدائرة نظرا لأن أداء كل الجهاز أو أجزائه متباين في الظروف المحيطة المتغيرة وذلك تم إيجازه علي النحو الوارد بالجدول 5-6 علي سبيل المثال. التلامس غير المباشر مع الأجسام المعدنية قد يظهر أكثر مع دوائر التوزيع الكهربائي في المخارج حتى 32 أ والمنشآت عموما وتلك المؤقتة علي وجه الخصوص وكذلك الحمامات (أحواض) وبالخصوص حمامات السباحة وفي المنشآت الزراعية ومع الكابلات والمغذيات وفي شبكات التدفئة والتكييف المنزلية والمكتبية في الحالتين سواء تلك الأجهزة داخل الحائط أو المرور داخل التربة الأرضية.

الجدول رقم 5-6: بيان ببعض الرموز الهامة الخاصة بخصائص المتممات

الرمز	بيان الخصائص
⎍	عدم تأثير عوامل الشوشرة الخارجية علي المتمم
∿	يستخدم مع دوائر التيار المتردد (Class AC)
∿ ⎍⎍	يستخدم مع دوائر التيار المتردد والتي تحتوي أحيانا علي النبضات لتيار مستمر من جراء تواجد أجهزة إلكترونية مثل الموحدات ومغيرات السرعة الإلكترونية وغيرهم (Class A)
~ ـــ	مثل النوع السابق ولكن مع الدوائر التي تحتوي علي مركبة تيار مستمر بصفة مستمرة (Class B)

نستطيع هنا إضافة أسلوبا مشتركا بين الجهد والتيار للبحث عن الأخطاء في قيمة التيارات المتسربة إلي الأرض بالاستعانة بمحول جهد، كما نشاهد في الشكل رقم 5-21 (أ) أو أسلوب الإحساس بهذا الخطأ مع المهيج الخاص بالمولدات كما نراه في الشكل 5-21(ب). هناك العديد من التطبيقات الفعلية لمثل هذا الأسلوب مع إدخال مقاومات للضبط والاتزان في دائرة الوقاية المخصصة للوقاية من الخطأ إلي الأرض توصيلا أو إتصالا.



الشكل رقم 5-21 : طرق أخرى لقياس تيار الأرضي

تتأثر الطرق المختلفة بأسلوب التأريض للشبكة ذات الجهد العالي وبقيمة المقاومة بين نقطة التعادل والمستوى الصفري للجهد الأرضي وهو ما يجعل هذه الأعمال معقدة عند الحساب بل ويتجه التطبيق نحو وضع قواعد معاملات الزحزحة في التصميم وهو ما يعرف في بعض التصميمات بمعامل الأمان.

ثالثا: الحمل الزائد (تجاوز الحمل) Over Load

تلعب الطاقة الحرارية الدور الأعظم في الوقاية من الأحمال المرتفعة أو تجاوزاتها والمعروفة باسم الحمل الزائد وعادة ما يضع التصميم الأصلي قواعد للتعامل مع هذه المقننات ولذلك فأي معدة أو جهاز كهربائي يتحمل المقنن الكامل للحمل لمدة تشغيل مستمرة دون انقطاع بينما إذا ما زاد الحمل عن المقنن نكون قد خرجنا عن الحدود الصحيحة للتشغيل، وبالرغم من ذلك نجد أن أي معدة من هذه المعدات تكون قادرة علي التشغيل عند حمل أكبر من ذلك المقنن الكامل ولكن لمدة زمنية محددة أقل وكلما ارتفعت قيمة الحمل كلما قلت الفترة الزمنية المسموح فيها بالتشغيل بدرجة عكسية شديدة الطابع ولذلك نجد أن مثل هذا النوع من الوقاية هام لجميع المعدات الكهربائية بلا استثناء علي عكس تلك المسماة زيادة التيار أو التسرب الأرضي. وهذا نراه مؤكدا عند التعامل علي جهد التوزيع حيث قد تختفي النوعيات الأخرى من الوقاية وتظهر وقاية تجاوز الحمل كنوع أساسي من الوقاية التلقائية في هذه الحالات.

تعتمد الفكرة الفنية علي المزدوج الحراري والمكون من معدنين مختلفي معامل التمدد وبالتالي مع التحرك الحراري يتمدد أحدهما بقدر مخالف للآخر فيسبب الحركة الديناميكية المسببة لتلامس الأطراف وبالتالي يؤدي إلي الفصل. هذا ونجد أن درجة الحرارة قد ترتفع إما عن توقف وسائل التبريد أو جزء منها أو بتحميل الملفات بتيار فوق المقنن وهو المعروف باسم الحمل الزائد أو تجاوز الحمل، ونستطيع تحديد قياس الحرارة بوضع ترمومتر في أحد الفتحات المتاحة مع الملفات أو مع دائرة التبريد وقد تعمل بذلك عن طريق دائرة الحمل المتجاوز علي فصل الدائرة الرئيسية عن بقية الشبكة حماية لها من الارتفاع الحراري المتزايد زمنيا وبطريقة عكسية مع الزمن كما سبق شرحه من قبل.

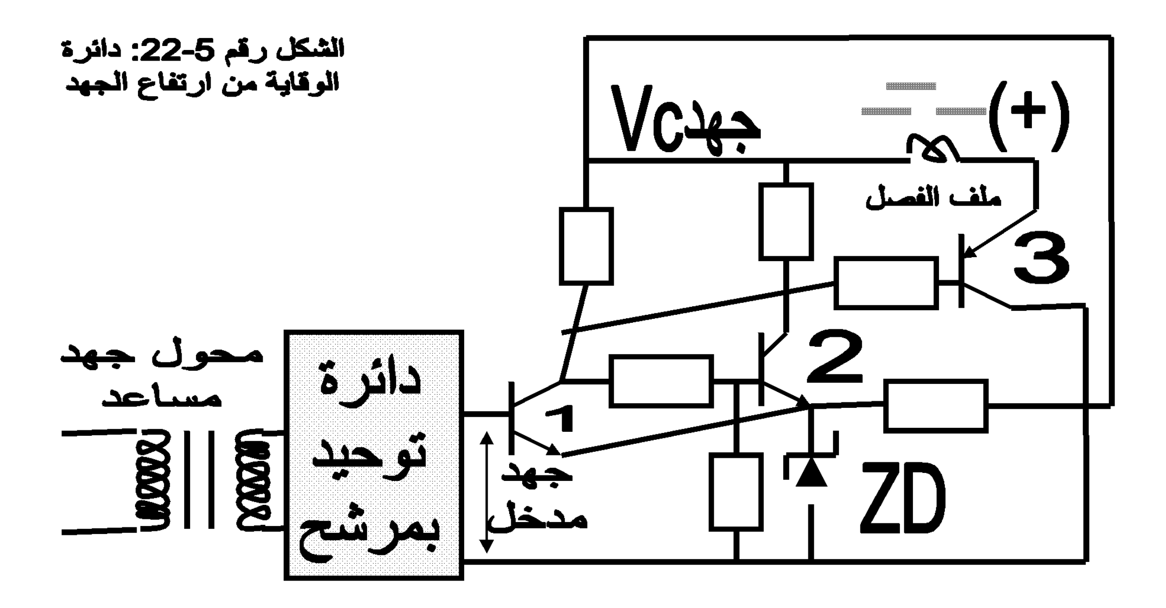
2-5: حماية الجهد Voltage Protection

يختلف الجهد عن التيار من وجهة نظر الحماية لأن النقص في التيار لا يسبب أية خطورة بينما يظهر الخطر مع زيادة التيار ولذلك وجدنا أن الوقاية ضد زيادة التيار هي التي جاءت في البند السابق. أما بالنسبة للجهد فزيادته تمثل خطورة علي العزل الموجود تحت التشغيل وهو خطر كبير، ولكن الاختلاف يظهر عند انخفاض الجهد عن حد معين والذي يضع نقاط التشغيل في مكان مختلف أو في وضع رديء فيحدث الخلل في تشغيل الشبكة. ومن ثم تمثل خطورة عليها ولهذا السبب نحتاج إلي وقاية الشبكة الكهربائية من هذه الحالة وهكذا سوف نتناول فيما يلي موضوعي تغير الجهد سواء بالزيادة أو النقص.

أولا: ارتفاع الجهد Over Voltage

الوقاية ضد ارتفاع الجهد عن الحد المقنن nominal يمثل الضرر البالغ خصوصا علي العزل الكهربائي ومن ثم وجب التخلص من هذا الجزء المسبب ارتفاعا في الجهد كي تعود الشبكة إلي حالة الاستقرار في التشغيل وتستمر التغذية للمواقع المختلفة ويعطي الشكل رقم 5-22 دائرة شميث المطبوعة Schmitt Trigger والمكونة من الترانزيستور حيث يعطي لكاشف المستوي الجهد المقنن المرجعي Reference وإذا تجاوزت القيمة هذا الحد يعمل علي تشغيل المتمم خصوصا وأن المدخل هو ذات الجهد المقنن والذي يتم بالمقارنة مع الجهد الفعلي اللحظي من خلال زينر دايود (Ziner Diode ZD) فيعطي تيارا من الترانزيستور رقم 1 وبتحول الترانزيستور رقم 3 للتوصيل فيصل الجهد إلي ملف الفصل.

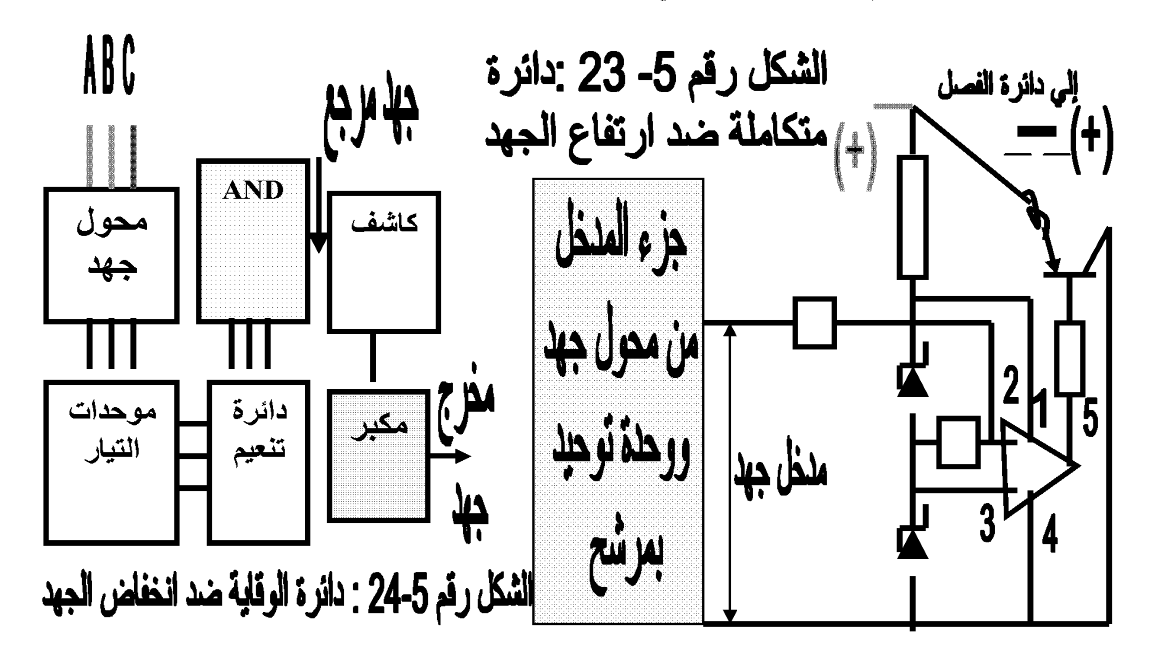
تستخدم الدوائر المتكاملة كما جاءت بشكل مبسط في الشكل رقم 5- 23 حيث جهد المرجع يظهر علي الطرف 2 للمكبر وعلي هذا لا بد وأن يظهر الترانزيستور في حالة وضع عكسي وبتجاوز القيمة المرجع يصل الجهد إلي ملف الفصل.



الشكل رقم 5-22: دائرة الوقاية من ارتفاع الجهد

ثانيا: انخفاض الجهد Under Voltage

تعتبر حالة انخفاض الجهد واحدة من أخطر الحالات التي قد تتسبب في العديد من المشكلات خصوصا مع الأحمال الديناميكية ولذلك يوضع عليها العبء كي نتفادى هذا الوضع وذلك بأسلوب الوقاية فنري في الشكل رقم 5- 24 دائرة صندوقية توضح خطوات العمل لتشغيل متمم عند انخفاض الجهد في دائرة ثلاثية الوجه.



الشكل رقم 5- 23 :دائرة متكاملة ضد ارتفاع الجهد

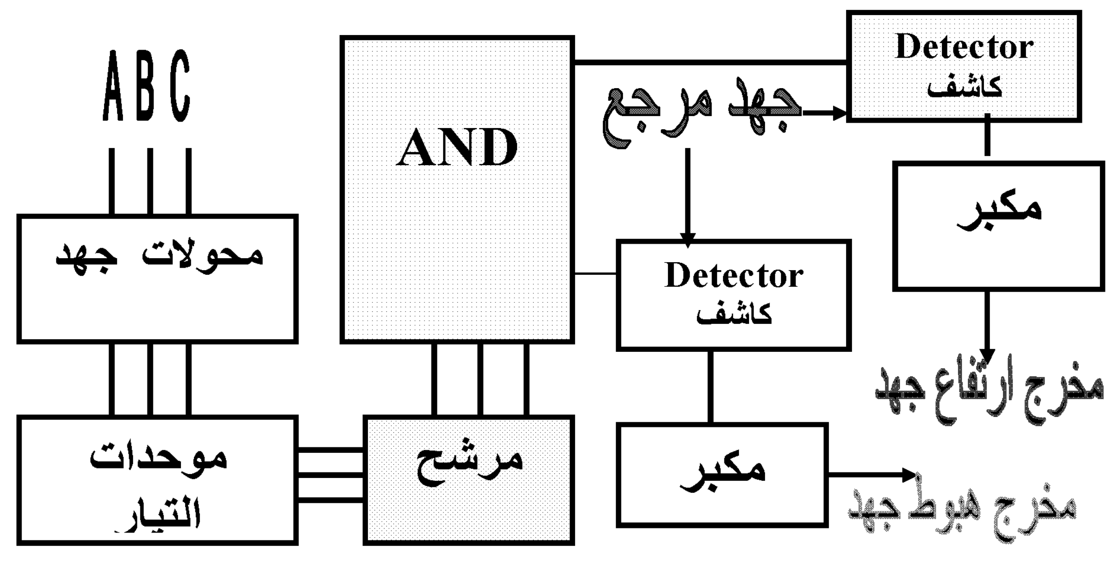
الشكل رقم 5-24 : دائرة الوقاية ضد انخفاض الجهد

تظهر هنا الحاجة لتحديد عددا من الرموز للتعامل بسهولة مع هذا النطاق التطبيقي وهي كما جدولت في الجدول رقم 5-7 طبقا لما جاء في المواصفات القياسية الدولية.

الجدول رقم 5-7: بيان بالرموز القياسية للمتممات لزيادة أو خفض الجهد

الرمز	البيان التفصيلي للرمز
U >	متمم وقاية ضد ارتفاع الجهد يحتوي علي نقطة تلامس مفتوحة
U <	متمم وقاية ضد ارتفاع الجهد يحتوي علي نقطة تلامس مقفولة
U >	متمم وقاية ضد هبوط الجهد يحتوي علي نقطة تلامس مفتوحة
U>	متمم وقاية ضد ارتفاع الجهد
U< 50, 80V 130%	متمم وقاية ضد ارتفاع الجهد له حدود ضبط من 80 – 50 ف ونسبة الاستعادة 130 %

نظرا لدخول المتممات الاستاتيكية الميدان فعليا وبناء علي خصائصها المميزة يمكن أن تعمل بسهولة دائرة الوقاية ضد هبوط الجهد في نفس الوقت للوقاية من ارتفاع الجهد ويوضح هذا الشكل رقم 5-25 وفي هذه الحالة تعمل الدائرة كدائرتين بحدود الضبط المعتادة فمثلا لهبوط الجهد للمدى من 80 إلي 90 % ولارتفاع الجهد 105 – 120 من القيمة المقننة أما نسبة الاستعادة فتكون 98 – 99 % للارتفاع و 101 – 102 للهبوط وبدقة سماح 1 % عند درجة الحرارة المعتادة، نجد أن زمن التشغيل في الدوائر المتكاملة والاستاتيكية قصير (160 ميلي ثانية بقدرة بسيطة للغاية 0.2 ف. أ. / 330 ق و 4 و / 24 ف DC) كما أن هذه الدوائر تعمل بدقة في كل الحالات مثل عدم التماثل أيضا أو عند انقطاع أحد الأوجه (التشغيل علي طورين فقط).



الشكل رقم 5-25 : دائرة الوقاية ضد هبوط وارتفاع الجهد

5-3: الحماية التفاضلية Differential Protection

انطلاقا من قانون كيرشوف المحدد بأن مجموع التيارات عند العقدة الكهربائية يساوي الصفر بدأ الاعتماد علي التأكد من التيارات الداخلة ومساواتها بتلك الخارجة من عقدة معينة ثم تطور التفكير ومن ثم التطبيق كي تتبع مع القضبان الكهربائية (الشكل رقم 5-26) والتي تمثل عقدة من الناحية الكهربائية بالرغم من امتدادها لمسافات بطول المحطات الكهربائية ثم تطور التطبيق إلي الملفات وهكذا ولذلك نضع المبادئ الخاصة بهذا الموضوع في أبسط صورة ممكنة كي تساعد علي فهم المسألة ككل وسوف نتناول هذا الجزء علي النحو التالي.

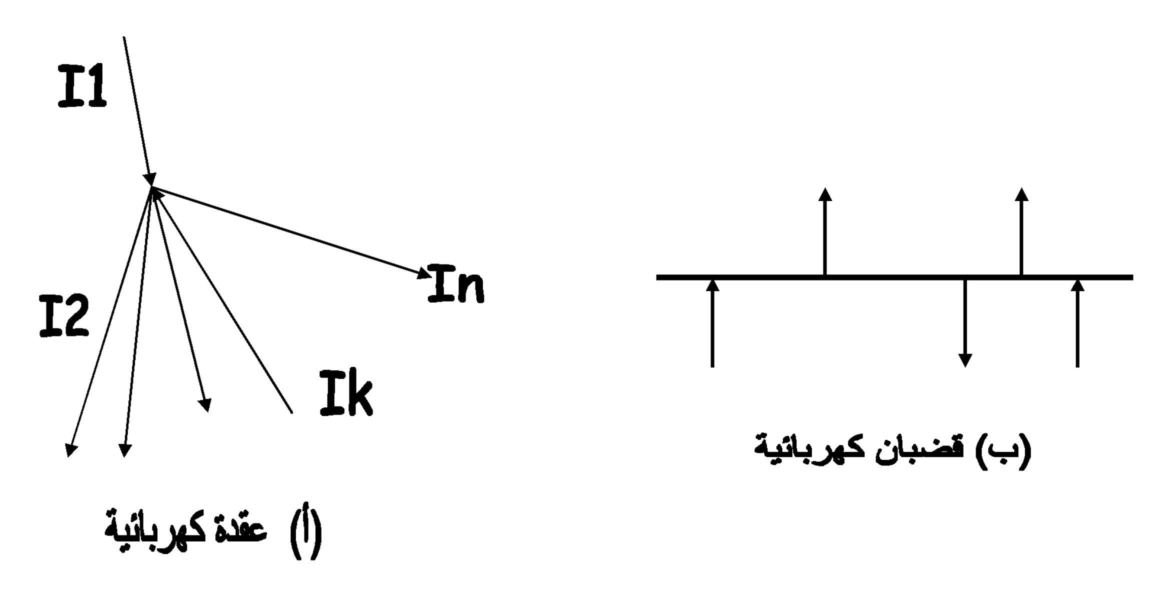
أولا: حماية العقدة بقانون التيار Current Node Performance

قانون كيرشوف للتيارات الداخلة والخارجة عند العقدة متساوية (الشكل رقم 5- 26) ونعبر عنها بالصيغة:

$$\Sigma I_{node} = 0 \qquad (5\text{-}17)$$

من هذا المعنى نحصل علي أن الحالة العادية للتشغيل تعني أن قانون كيرشوف يؤكد علي سلامة التغذية من المنبع إلي المستهلك بينما عند حدوث خطأ في التوصيل أثناء التشغيل فالقانون سوف يؤكد علي وجود هذا الخطأ وبهذا نستطيع الاستفادة منه لعمل دائرة وقاية ضد الخلل في التوصيلات عند العقدة الكهربائية حيث أن مجموع التيارات سوف يتساوى بدخول جزء جديد عند العقدة ونضبط هذا بأن نحصل علي مجموع التيارات العاملة عند النقطة سواء كانت تعمل في كل وقت أم لا وإذا ما حدث خلل سوف يظهر الفارق بين هذه المقارنة والتي تتم بين التيارات الداخلة والخارجة عند القصر تبعا للمعادلة الناتجة عن قانون كيرشوف أيضا:

$$\Sigma \text{in currents} = \Sigma \text{out currents} \quad (5\text{-}18)$$



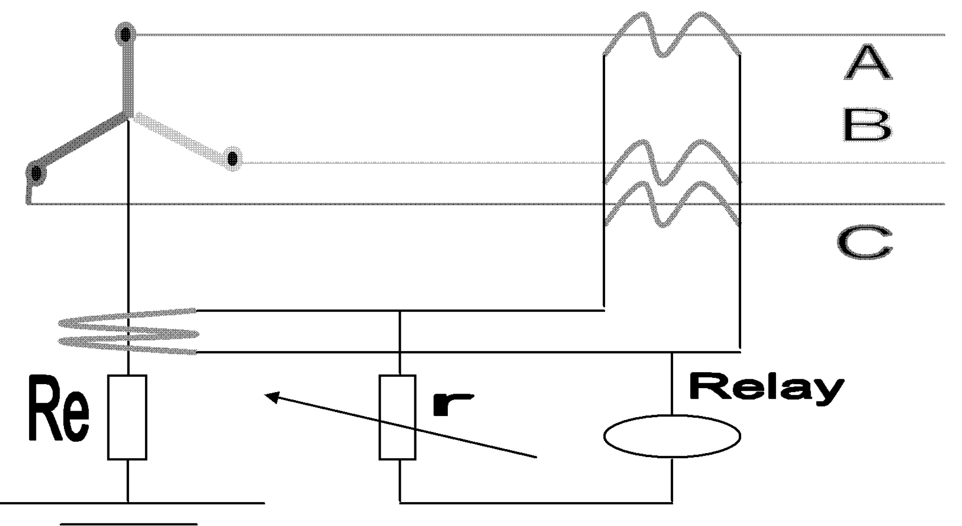
الشكل رقم 5-26 : تيارات عقدة

متمم التيار الأرضي قد يتبع هذا النوع من المقارنة مثل ما جاء في الشكل رقم 5-27 حيث نجد أن المتمم يقارن بين مجموع تيارات الأوجه والتيار المتسرب إلي الأرض مع تواجد مقاومة للحفاظ علي فارق عدم الاتزان **balance resistance** الذي قد يتواجد خصوصا مع شبكات التوزيع وهذا التيار هو المعروف بقيمته التي تساوي ثلاث أضعاف قيمة تيار المركبة الصفرية I_o وهو **zero sequence current** كما يعطي الجدول رقم 5-8 بيانا بمقدار التسرب التفاضلي للتيار الأرضي والمحدد قياسيا بالنسبة لضبط المتممات لبعض الأنواع المتداولة بالفعل في ميدان الوقاية الآلية في الشبكات الكهربائية علي المستوي الدولي. بهذا المبدأ بدأت التطبيقات العديدة والمتنوعة في مجال الوقاية بالشبكات والمحطات والمصانع وخصوصا لحماية الأجزاء الهامة بالشبكة كما سنضع البعض الأساسي منها فيما هو آت.

الجدول رقم 5- 8: بيان تيار التسرب (بالملي أمبير) بالطريقة التفاضلية مع زمن الفصل

خاصية الفصل	تيار التسرب المخصص	تيار التسرب التفاضلي
زمن فصل الدائرة	6 ملي أمبير – 20 أ	0.5
زمن عدم فصل الدائرة	أكبر من 30 ملي أمبير	0.12
زمن الفصل	غير محدد	0.5

تخضع العملية التفاضلية في مجال الوقاية الآلية للشبكات الكهربائية لعدد من المبادئ الجوهرية:



الشكل رقم 5-27 : متمم تيار أرضي بالأسلوب التفاضلي

1- دقة الاختيارية سواء الأفقية أو الرأسية من حيث زمن الفصل والتتابع الفعلي دون تداخل في الخصائص المحددة للأداء في دوائر الوقاية المختلفة الواقعة علي الشبكة الكهربائية وتظهر أهمية ذلك بوضوح مع شبكات التوزيع الكهربائية.

2- مقدار تيار التسرب يجب أن يقل تحت نصف القيمة عن المنطقة السابقة في الشبكة الكهربائية و لا بد أن يؤخذ ذلك في الإعتبار عند الضبط.

3- الضبط التام والذي يراعي تواجد أي من مانعات الصواعق في الدائرة والالتزام بتأخير الفصل لتيار التسرب عن زمن عمل مانعات الصواعق.

4- وضع عملية تشغيل المصابيح الفلورسنت المستخدمة بكثافة عالية في بعض المناطق وخاصة الصناعية كمعامل هام في ضبط متممات التسرب الأرضي حتي لا ينعكس ذلك علي دقة أداء مرحلات التسرب الأرضي.

5- تحديد مدي تيارات البدء لتشغيل المحركات في المناطق الصناعية من الناحيتين قيمة وزمن.

6- دراسة الأحمال خصوصا مع تواجد الأحمال السعوية في الشبكة الكهربائية.

7- التأكد من الظواهر الكهرو مغناطيسية والتفريغ الاستاتيكي في بعض الحالات.

يمكن تحسين مستوى الأداء للمتممات هذه بعدد من المعالجات مثل:

1- رفع درجة دقة وحساسية محولات التيار المستخدمة حلقيا عند أطراف المغذيات.

2- توزيع الموصلات علي الأطوار تماثليا حول نقطة التعادل.

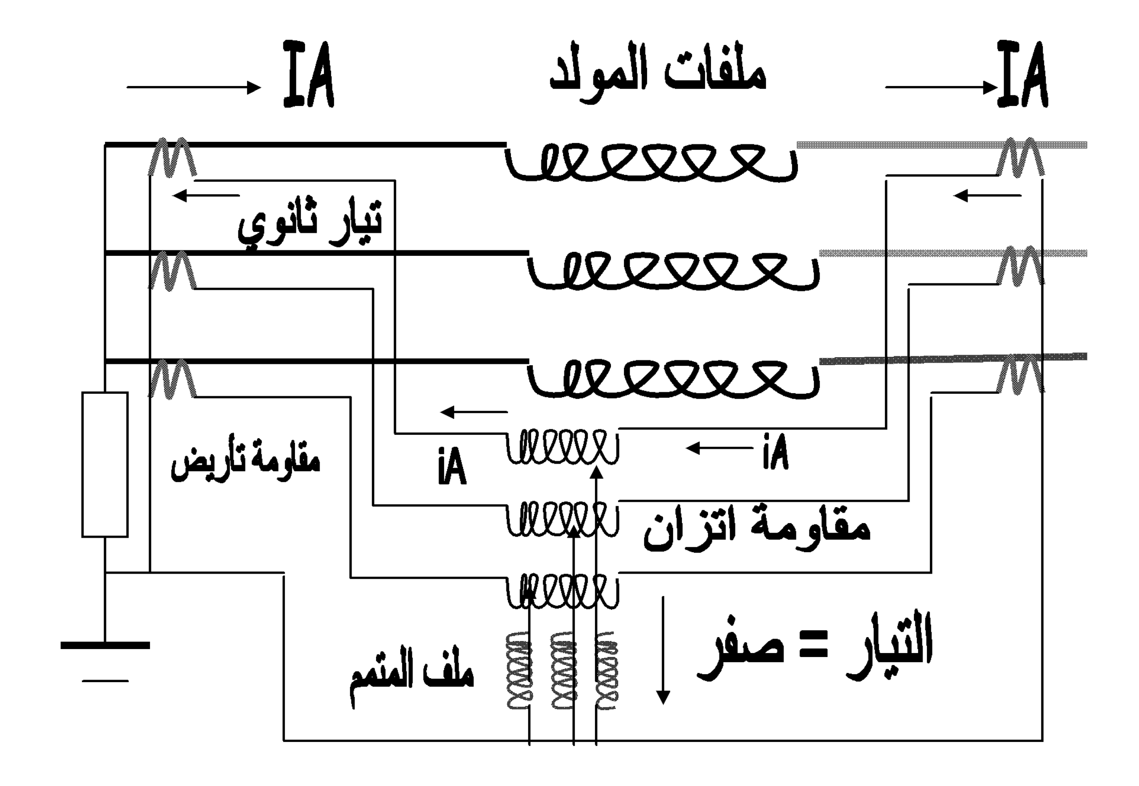
3- التأريض الجيد لمحولات التيار منعا لتيارات التسرب الأرضي منها حتي يتم التحكم في ضبط قيمته سواء أن تزيد قيمته أو تقلله حسب الأحوال.

ثانيا: حماية الملفات Winding Protection

تحتاج الملفات العاملة في الشبكات الكهربائية بكافة أنماطها إلي العناية المركزة ضد أية أخطار قد تلحق بها نتيجة التشغيل ومن أدق أنواع الحماية للملفات تأتي الوقاية التفاضلية والتي تعتمد علي قانون التيارات لكيرشوف وهي بذلك تعتبر من أهم أنواع الوقاية للملفات علي وجه الاطلاق سواء كانت للمولدات أو المحولات أو المحركات أو الممانعات عموما وخصوصا تلك العاملة في شبكات الجهد العالي والفائق مع الخطوط الطويلة. كما أن الخطوط الكهربائية قد خضعت للوقاية التفاضلية في بدايات التطبيق العملي لذلك مع الشبكات الكهربائية القصيرة ولكنها تطورت فيما بعد كما سوف نتعرض له لاحقا بالشرح والتفصيل، أما بالنسبة للقضبان في المحطات فقد تعاملت مع نظام الوقاية التفاضلية بنجاح تام وهنا سوف نستعرض وقاية الملفات بشكل مسلسل في السطور القادمة وبشكل مبسط.

1- وقاية ملفات المولد Generator Winding

تتبع الملفات نوعا هاما ورئيسيا من الناحية التفاضلية ولذلك لا بد وأن تتواجد دائرة الوقاية التفاضلية علي ملفات المولد وذلك من أجل الحفاظ علي الملفات (الشكل رقم 5- 28) غير أن هذا النوع من الوقاية يهدر جزءا صغيرا من الملفات القريبة من جهة الأرض ونقطة التعادل ويعتمد قدره كنسبة مئوية من كل الملفات علي كلا من:



الشكل رقم 5- 28 : دائرة وقاية تفاضلية لملفات مولد

أ) قيمة ضبط التيار في المرحل المستخدم للوقاية التفاضلية

ب) قيمة المقاومة بين نقطة التعادل ونقطة الجهد الصفري بالأرض حيث نجد أن الإحساس بتواجد هذا الخطأ منعدما بالرغم من طريقة المفاصلة بين طرفي ملف كل وجه علي حدة وهذا يحدث ويكون خطيرا لأن الملف بهذا الجزء الصغير يعمل كمولد بقدرة تتقابل مع عدد اللفات التي عليها القصر.

يستقبل محول التيار قيمة التيار الموجود في الدائرة الرئيسية بنسبة التحويل الخاصة به وبالرغم من أن التيار المار في الوجه الواحد الذي يمثل دائرة توالي إلا أن قيمته قد تتغير نتيجة تيارات التسرب الناتجة عن الجهد العالي للملفات وما يتبعه من تيارات تسرب إلي الأرض Stray Currents ولهذا قد يحدث هذا الاختلاف بين القيمة المحسوسة من محول التيار في جهة الخروج عن تلك من جهة الأرض وهنا يلزم الضبط لهذه القيمة حتى لا يعمل المتمم يقوم بأداء فصلا زائفا وهذا يتم من خلال مقاومة اتزان علي كل وجه في الدائرة الثانوية ويتم الضبط عليها، إضافة إلي هذا فالتيار المار في ملف المتمم يساوي الصفر في حالة التشغيل المستقر بينما يمر التيار فيه إذا وجد فرق بين التيارين كما بالرسم.

بالنسبة للجزء المحمي من الملفات فهو كبير ولكن لا نستهين بذلك الجزء الصغير غير المحمي خصوصا إذا ما كانت المقاومة بين نقطة التعادل والأرض كبيرة ولذلك يجب أن تؤخذ في الحساب عند الضبط لما له من تأثير مباشر علي الضبط كما أن التيار الأدنى لتشغيل المتمم له تأثير أيضا، وسوف نتعامل مع هذا الموضوع من خلال المسائل في نهاية هذا الفصل بالإضافة إلي غيرها من المسائل في نهاية الكتاب بإذن الله خصوصا وأن المبتدئ من المهندسين أو الفنيين في هذا المجال لا يظن أبدا أن هناك أي جزء من الملفات غير محمي.

2- وقاية ملفات المحول Transformer Winding

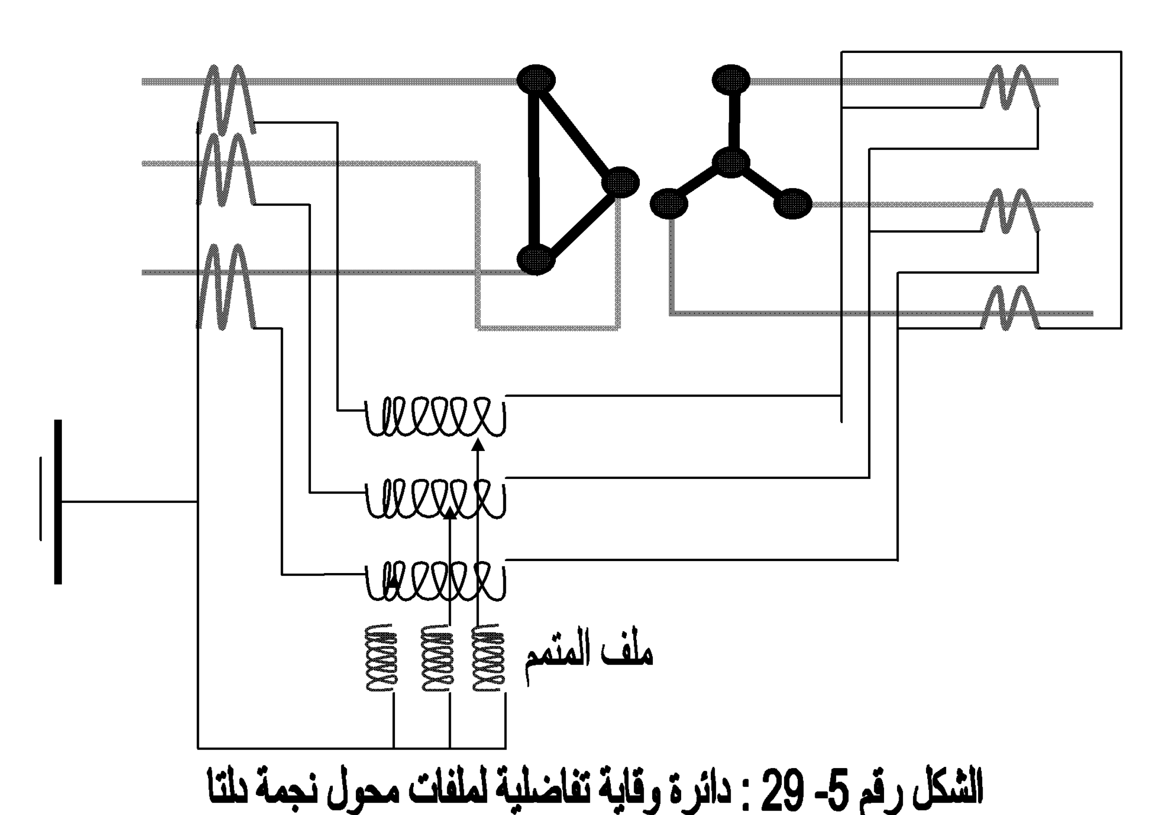
ننتقل إلي ملفات المحولات وهنا يجب الحذر من نسبة التحويل بين ملفات الجهد العالي إلي المنخفض أو العكس ومن ثم لابد وأن نحافظ علي إعادة هذه النسبة عكسيا مع محولات التيار علي الجانبين وهو ما يتم من خلال التوصيلات المختلفة للمحولات فمثلا إذا كانت ملفات محول القدرة بالتوصيلة (نجمة / نجمة) يمكن أن توصل محولات التيار عليه إما (نجمة / نجمة) أو (دلتا / دلتا) وهو ما ينطبق أيضا للمحول (دلتا / دلتا)، وعلي نفس المنوال إذا كان المحول (نجمة / دلتا) فهنا الحذر ولا بد وأن يكون توصيل محولات التيار عكس تلك لمحو ل القدرة فتكون (دلتا / نجمة) والعكس بالعكس (الشكل رقم 5-29) حيث الرسم يخص المحول دلتا / نجمة، وتوجد هذه العملية بصورة قياسية لتحويل نوعية التوصيل كما في الجدول رقم 5- 9 والذي يحصر كافة أنواع الملفات للمحولات.

الجدول رقم 5-9: بيان بتوصيل محولات التيار نسبة إلي محولات القدرة العاملة عليها

م	ملفات محول القدرة (ابتدائي / ثانوي)	ملفات محولات التيار (جهة الابتدائي/ جهة الثانوي)
1	نجمة / نجمة مؤرض	دلتا / دلتا
2	دلتا / نجمة مؤرضة	نجمة / دلتا
3	نجمة مؤرضة / دلتا	دلتا / نجمة
4	دلتا / دلتا	نجمة / نجمة
5	نجمة مؤرضة / دلتا بمحول تأريض علي الثانوي	دلتا / نجمة
6	نجمة / نجمة بملف ثالث	دلتا / دلتا

بنفس المبدأ السابق تطبيقه علي المولدات يكون هنا أيضا جزءا من ملفات الثانوي والقريب من نقطة التعادل غير محمي نتيجة قربه من الجهد الصفري وتعتبر الوقاية التفاضلية من أخطر الأنواع لأنها تعني أن الملفات بها خطأ ومن ثم يجب الفصل بسرعة والتعامل مع المحول بأسلوب الصيانة والاختبار ولا يجوز إعادة التوصيل إلا بعد نتائج مرضية من الاختبارات النمطية والتي تؤكد علي سلامة المحول أو المولد كما كان في البند السابق .

الفصل بالوقاية التفاضلية للملفات هو أعلي درجات الخطورة كما تضاف الوقاية الغازية بالنسبة للمحولات في مجال الوقاية الآلية للشبكات الكهربائية كما سوف يبين فيما بعد، والوقاية التفاضلية هنا تشمل الملفات ذاتها بجانب الوصلات من أطراف الملفات وحتى أطراف محولات التيار وإذا ما كان المحول ثلاثي الملفات أي له ثلاث جهات فيكون المتمم التفاضلي موصلا بين الثلاث جهات معا دون استثناء وهذا لا يحدث مع المولدات.

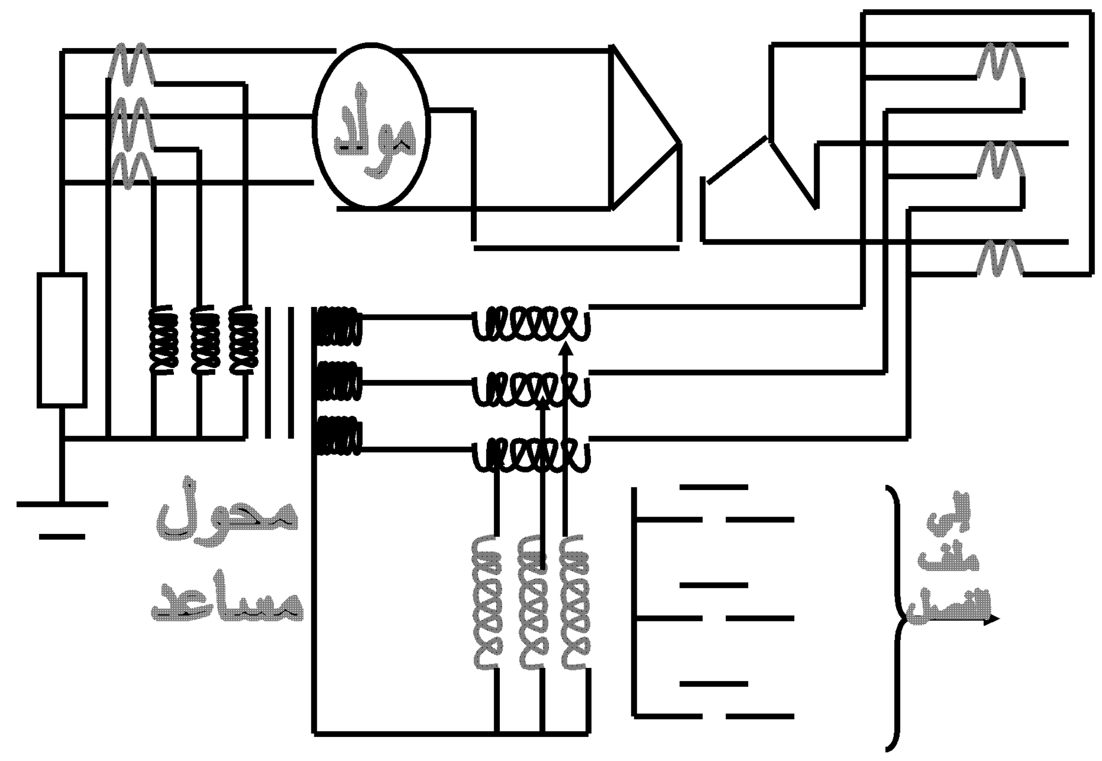


الشكل رقم 5- 29 : دائرة وقاية تفاضلية لملفات محول نجمة دلتا

3- وقاية ملفات وحدة المولد والمحول معا Unit Winding

في كثير من الحالات أن وحدة التوليد متكاملة أي أنها تتكون من مولد ومحول موصلان معا مباشرة دون أي قضبان بينهما ولا يمكننا تشغيل أي منهما بدون الآخر ولذلك نتعامل مع هذه الوحدة المتكاملة كأنها شيء واحد ونستخدم الوقاية التفاضلية علي النحو الوارد في الشكل رقم 5-30 حيث يوصل المولد إلي الأرض الصفري من خلال مقاومة وتستخدم الطريقة الخاصة بالمحولات هنا أيضا وتكون الوقاية شاملة ملفات المحول والمولد معا والموصلات بينهما والموصلات إلي أطراف محولات

التيار من الجهتين ، وقد ظهر بالرسم محول مساعد لينقل التيار بالقدر المطلوب وطبقا للضبط المحدد مع نسبة التحويل للجهتين .



الشكل رقم 5- 30 : دائرة وقاية تفاضلية لملفات وحدة مولد محول

كل ملف متمم يمرر تيار الوجه الذي هو فيه فقط ولكل من هذه الملفات ملمس خاص به فإذا ما مر تيار القصر يمر التيار في المتمم فيتم توصيل الملمس الخاص به وهو بذلك ينقل الجهد الموجب من الجهة الموصلة علي قضبان التيار المستمر إلي الجهة الأخرى حيث ملف الفصل الخاص بفصل القاطع في الدائرة الرئيسية، وعلي نفس المنوال هناك جزءا من ملفات المولد غير محمي وآخر أيضا في ملفات المحول الثانوية والقريب من نقطة التعادل وهما ما يجب العناية بهما حتى وإن كان المحول موصلا إلي الأرض مباشرة (بدون مقاومة) وإن كان الجزء غير المحمي يقل كثيرا في هذه الحالة ولكن لا تخاذل من هذا الجانب ويلزم التأكيد علي سلامة المحولات مهما كانت النسبة غير المحمية صغيرة.

ثالثا: حماية القضبان Bus Bar Protection

تحتل وقاية القضبان مكانة هامة وسط بقية أنواع الحماية الأخرى لما يقع عليها من مسئوليات أساسية في تشغيل الشبكات بكفاءة مرضية وهناك عدد من الأسباب لهذه الأهمية منها:

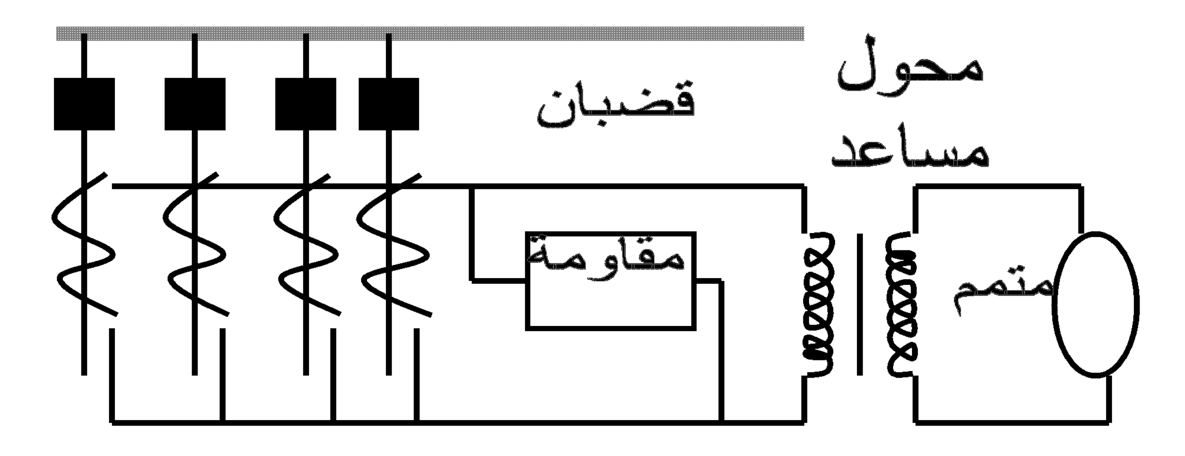
1- مستوى القصر short circuit level علي القضبان أعلي بكثير من المواقع القريبة منه أو المجاورة.
2- يلزم التحكم زمنيا في أي خطأ علي القضبان قبل إعادة الطاقة بسرعة وعادة تكون آليا في حدود 120 ملي ثانية تقليلا لمقدار الخسائر نتيجة الزيادة الهائلة في الطاقة والتي تظهر علي شكل حراري.
3- يتأثر اتزان الشبكة بشكل مباشر لأي خطأ في منطقة القضبان وليست القضبان فقط

4- يتسبب القصر علي القضبان أو منطقته في خروج كل الموصلات التي تتصل به وبالتالي يقطع التيار عن العديد من المناطق والمغذيات التابعة له.

ومن خصائص الوقاية من هذا النوع ما يلي :
1- الفصل المنفرد لكل قاطع CB علي حدة
2- سرعة الفصل بمدة تقترب من 0.06 ث
3- عدم التشغيل الوقائي مع حدود التشبع في محولات التيار أو تأرجح swing القدرة في المولدات
4- التمييز بين القضبان وغيرها من المناطق المتجاورة

توضع القضبان بذلك علي نطاقين هما وقاية منطقة القضبان bus zone أو وقاية القضبان فقط وذلك بهدف وقاية القضبان بحيث تكون مستقرة ضد الأخطاء الخارجية external عن القضبان وبسرعة فصل فائقة للخطأ داخل القضبان internal ، وتتعدد أسباب القصر في منطقة القضبان بين الاتصال مع الأرض أو التوصيل بين وجهين متجاورين أو بالشرارة الناتجة علي العوازل أثناء عمليات الفصل والتوصيل أو لتواجد الأتربة عليها وأحيانا للظواهر الخارجية مثل الهزات الأرضية أو الأعمال الميكانيكية أو أعمال الصيانة وهذا يعبر عن أهمية هذا الجزء وما يتبع ذلك في نقاط هي:

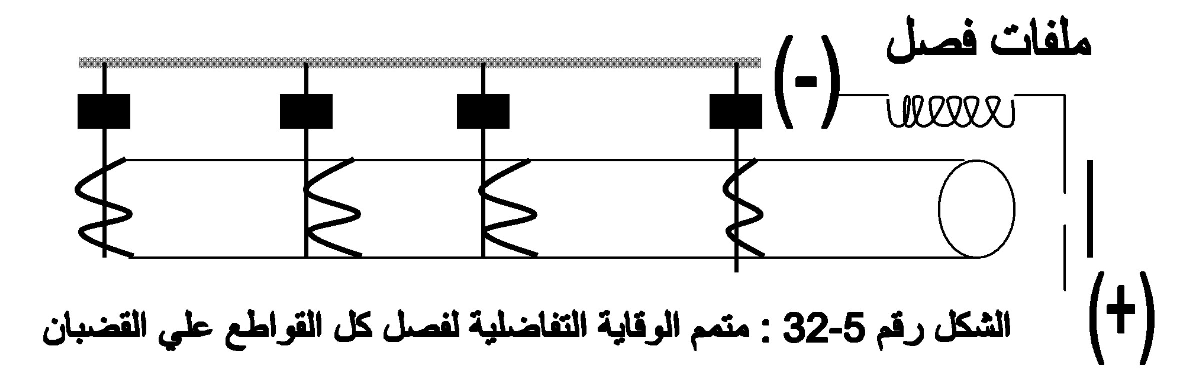
1- وضع كل القواطع المتصلة بالقضبان داخل منطقة الوقاية لحمايتها من الأخطاء.
2- اختيار محولات التيار المناسبة للعمل مع وقاية القضبان.
3- الاعتماد علي وقاية زيادة التيار (عادية أو بمعوقة كبيرة high impedance over current كما في الشكل رقم 5-31) أو التسرب الأرضي أو وقاية المسافة لأداء الفصل بسرعة بطيئة كوقاية ثانية Back up protection بعد وقاية القضبان ذاتها.



الشكل رقم 5-31 : متمم زيادة تيار بمعوقة كبيرة علي القضبان

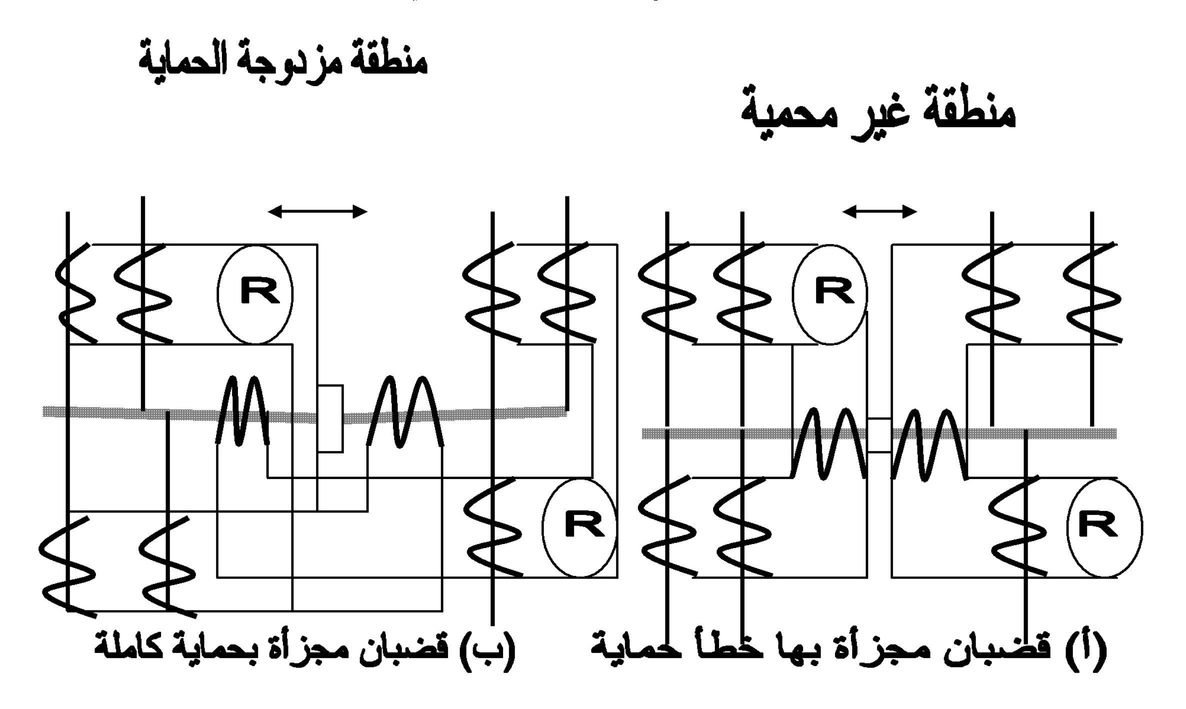
4- استخدام وقاية زيادة التيار الفرملة interlock over current من أجل فصل المولدات أثناء الخطأ علي القضبان والتي تصمم تبعا لتكلفة دورة الحياة life cycle.
هكذا كانت الوقاية الناجحة للقضبان والتي تؤكد علي وجود خطأ مباشر علي القضبان إذا ما فصل متمم الوقاية التفاضلية لهذه القضبان أو أي من أجزائها (الشكل رقم 5- 32) ولذلك توضع القضبان محل العناية والتركيز علي قدم وساق مع الملفات لأنه بدونها لا نستطيع التعامل مع المناورات والتي تشمل التوصيل والفصل والنقل والتحويل علي طول الشبكة الموحدة وهو ما يخص موضوع الوقاية للشبكة الكهربائية ككل. نود التأكيد علي الرسم الخطي في الشكل رقم 5-31 أنه يتكرر لكل وجه وبذلك يكون لدينا ثلاث متممات وأي منهم يعطي الأمر بالفصل المباشر وتدخل القواطع داخل نطاق الدائرة

التفاضلية وذلك بوضع محولات تيار كما نراها بينما لو نقلت هذه المحولات لتصبح بين القضبان والقواطع لخرجت القواطع من نطاق الحماية التفاضلية هذه.



الشكل رقم 5-32 : متمم الوقاية التفاضلية لفصل كل القواطع علي القضبان

نواجه عددا من المشكلات في الوقاية التفاضلية علي القضبان سواء كانت تخص وقاية منطقة القضبان أو القضبان وحدها وخصوصا إذا كانت هذه القضبان ذات اتصال مباشر مع مولدات نوجز منها ما يلي:



الشكل رقم 5-33 : الوقاية التفاضلية للقضبان المجزأة

1- تباين مستوي القصر علي الدوائر المختلفة والمتصلة علي القضبان .

2- ظاهرة التشبع في محولات التيار نتيجة ظهور المركبة المستمرة في تيارات القصر .
3- تواجد القضبان المجزأة sectionalized في الشبكة الكهربائية. وهو ما نستطيع فهمه من خلال الرسمين الواردين في الشكل رقم 5- 33 حيث نجد منطقة غير محمية ولا تحس بوجود قصر مباشر فيها علي القضبان في الشكل (أ) بينما تلافينا هذا في الشكل (ب) .
4- الحاجة المستمرة لضبط المتممات مع التغير الشديد في الأحمال .

نتبع هنا التوصيل علي كل المخارج التي تتصل مع القضبان سواء كانت فردية أو مزدوجة أو ثلاثية الطراز ولهذا تكون دائرة الوقاية الخاصة بالقضبان عبارة عن دائرة تفاضلية عليها محولات تيار بعدد المخارج علي القضبان ويتم توصيل كل وجه معا لكل المحولات ويوضع المتمم ليحس بالمحصلة لهذه التيارات معا وهنا يتم فصل جميع القواطع لكل الدوائر الكهربائية المتصلة علي القضبان وبلا استثناء إلا إذا تأخر عدد من الدوائر بعيدة عن المقطع المعيب من القضبان.
بذلك نجد الجدول رقم 5- 10 قد أوضح الطرق المختلفة المتبعة لوقاية منطقة القضبان بشكل عام الملاحظات لكل منهم وهم خمسة طرق وخصائص كل منهم.

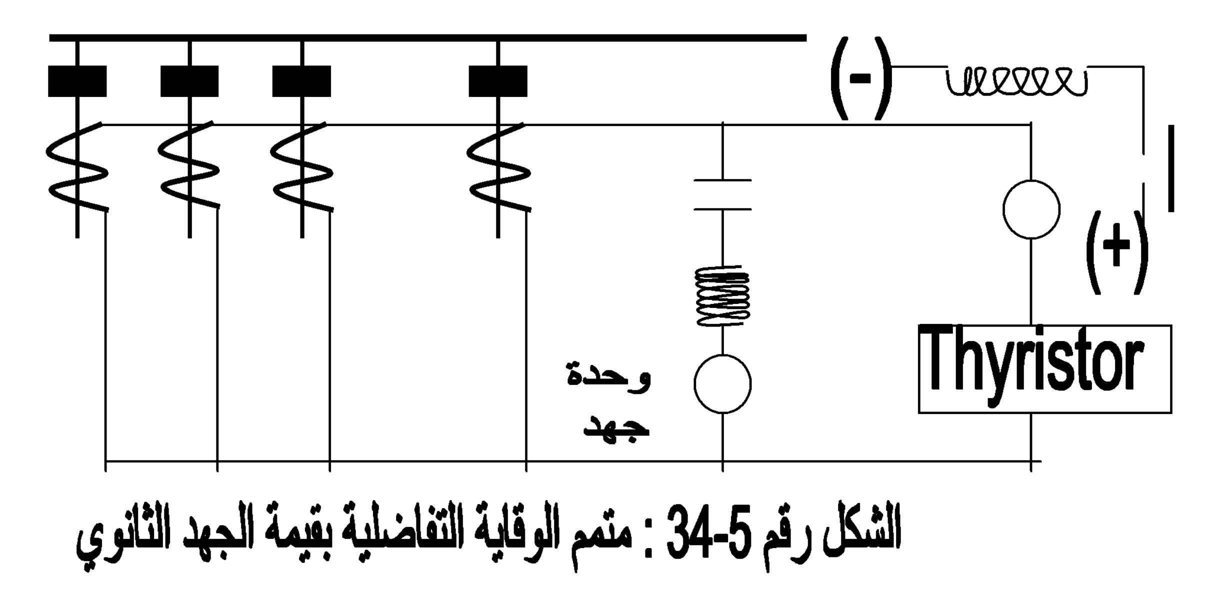
الجدول رقم 5-10 : خصائص طرق الوقاية لمنطقة القضبان

الطريقة	الخصائص	الملاحظات
زيادة التيار	الفصل الفوري أو المحدد	تصلح لشبكات التوزيع بمغذيات وزمن فصل حتى 400 ملي ث
الوقاية التفاضلية	التيار الدائر بالمتمم ذو المقاومة العالية الاعتماد علي فرق الجهد لتشغيل المتمم. الضبط المباشر	تصلح في المحطات الكبيرة محسنة الخواص التمييز بفرق الجهد تأخير فصل القصر البعيد
التسرب الأرضي	باستخدام محولات تيار مع الجسم المعدني	وقاية ضد الاتصال مع الأرض
الوقاية الاستاتيكية	تجنب مشاكل محولات التيار	الأفضل
وقاية احتياطية Back Up	زيادة التيار – وقاية المسافة	امتداد وقاية المغذيات لحماية القضبان

من العوامل التي توضع في الاعتبار لاختيار محولات التيار التي تستخدم في وقاية القضبان:

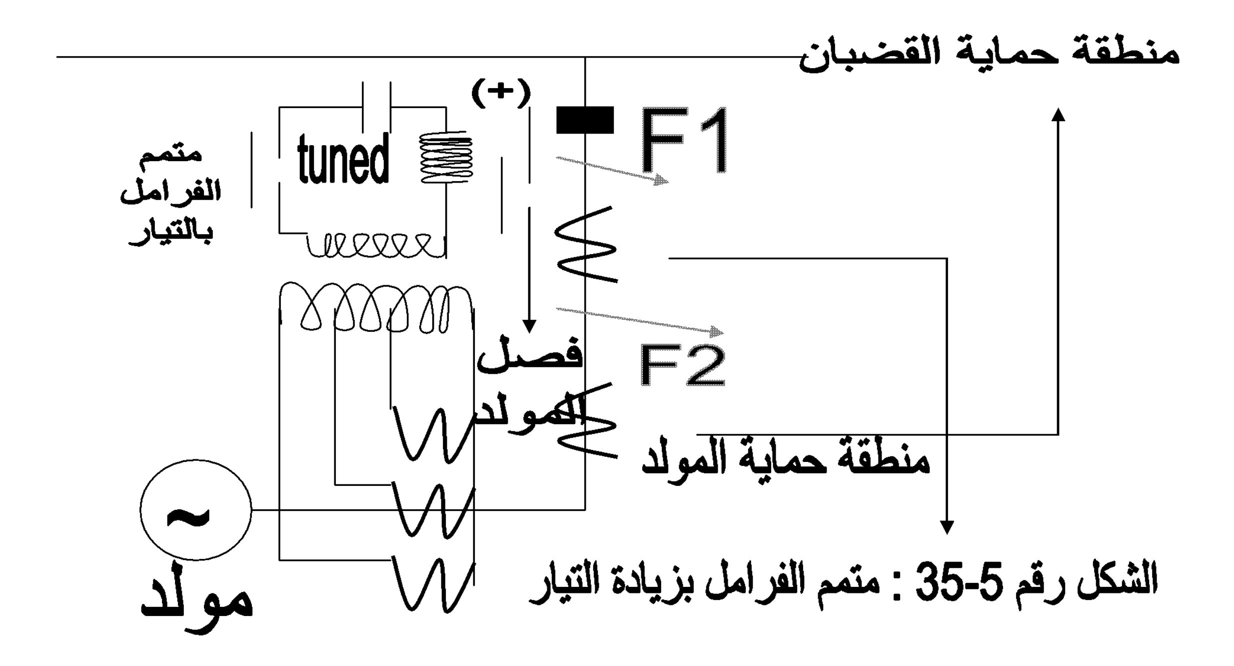
1- الاستعانة بمحولات تيار متماثلة وخصوصا عند التشبع وبنفس نسبة التحويل
2- زيادة نسبة تحويل محولات التيار لتقليل نسبة تواجد التيار الاندفاعي إلي المقنن .
3- تقليل البردن بالتعامل مع المتممات الاستاتيكية وتقصير الوصلات
4- لا بد وأن تكون حدود التيار كبيرة .
5- استخدام القلب ذو الثغرات لمحولات التيار
6- نتغلب علي ظاهرة التشبع في محولات التيار برفع قيمة المقاومة علي الدائرة الثانوية لمحول التيار كما لو كانت الدائرة مفتوحة وهذا ينجح مع نوع محولات التيار بعازل الاختراق bushing CT ويعرض الشكل رقم 5- 34 الدائرة الخاصة بهذا وفيها يضاف فرع به مكثف وملف برنين طبيعي من أجل القضاء علي الموجات التوافقية وبمقاومة لهذا الفرع قد تصل إلي 3 ك. أوم بينما يتم توصيل ثيرثتور علي التوالي مع المتمم لتحديد قيمة الجهد كما يقوم بعمل قصر علي كل محولات التيار بعد أداء الفصل أما المتمم فهو من نوع زيادة التيار وبفصل فوري في حدود 0.6 – 0.12 ث .
7- استخدام محولات مساعدة متماثلة تماما
8- أساس المفاضلة بين نوعي الخطأ داخل أو خارج منطقة الحماية لا بد وأن يعتمد علي الجهد وليس التيار فيكون هائلا مع الأخطاء الداخلية مقتربا من قيمة جهد اللاحمل بينما تتضاءل القيمة مع الأخطاء الخارجية حيث يصل هبوط الجهد إلي أقصى حد علي الموصلات والملامسات.
9- ضبط المتمم بحساب أسوأ ظروف تشغيل محتملة مع معامل أمان بقيمة 2
بعض التصميمات تلجأ إلي تأخير فصل الوقاية للقضبان حرصا علي سلامة التشغيل باتزان الشبكة وذلك بالاستعانة بمتمم تحذير alarm relay كما يفضل البعض وضع حالة تشغيل المتمم بفصل الملامسات تقليلا للطاقة المستهلكة الهائلة وقت

الفصل وهناك من يضيف ملمسا آخر علي التوالي لتأكيد وجود الخطأ وحتمية الفصل وهو ما يحتاج إلي فصل المولدات بتأخير زمني في حدود 5 ث لتخفيف العبء علي الشبكة حتى لا تخرج كل المحطات علي التتابع عن العمل.



الشكل رقم 5-34 : متمم الوقاية التفاضلية بقيمة الجهد الثانوي

10- ضرورة توصيل متمم تحذير في الدائرة الثانوية إذا ما فصلت أحد الأطراف فيها حرصا علي سلامة التشغيل ولخطورة هذا الوضع علي دوائر الوقاية ذاتها .

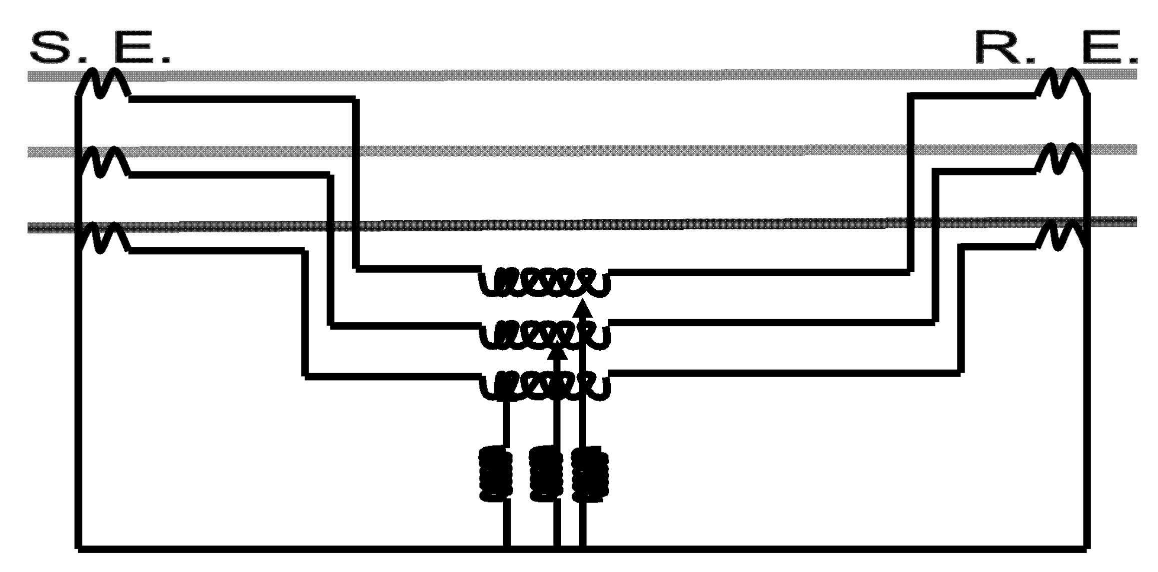


الشكل رقم 5-35 : متمم الفرامل بزيادة التيار

أحيانا يتم اللجوء إلي متمم الفرامل بزيادة التيار Interlock Over Current Relay وهو يستخدم لمنطقتي حماية المولدات والقضبان (الشكل رقم 5-35) حيث نرى منطقة الحماية الخاصة بمنطقة القضبان متجهة إلي أعلى بينما تلك لمنطقة المولدات تتجه نحو المولدات وهناك منطقة ازدواج للوقاية بين المنطقتين حيث F2 فيعمل كلا النوعين من الوقاية معا ولكن بفارق زمني ضئيل، بينما F1 يقع داخل حماية منطقة القضبان فقط فيتم فصل القضبان ولكن مازال المولد خاضعا للعمل علي خطأ ولذلك يعمل هذا النوع من المتممات للتأكيد علي ضرورة الفصل من عدمه .ولهذا نجد أن ذلك المتمم يحتاج إلي التمييز بين نوعي الخطأ لفصل المولد بزمن تأخير يقترب من 0.1 – 0.5 ث ولا يجوز إعادة التوصيل التلقائي لهذا النوع من الوقاية عموما ، كما يجب التأكيد علي فصل جميع الأوجه في ذات اللحظة بقدر الإمكان. هناك المزيد عن القضبان ولكن ليست كدائرة وقاية بل كمنظومة وقاية كاملة مع بقية الدوائر المختلفة والمتداخلة معا.

4-5: وقاية المسافة Distance Protection

من السهل تطبيق الوقاية التفاضلية علي المغذيات القصيرة لأن أسلاك الدائرة الثانوية (دائرة الوقاية) ستكون قصيرة أيضا حيث نجد أن التيار عند البداية دائما يختلف عن مثيله عند النهاية خصوصا كلما ارتفع جهد الخط نتيجة للتسرب الأرضي للتيار ونتناول هذا الموضوع في تسلسل مبسط.

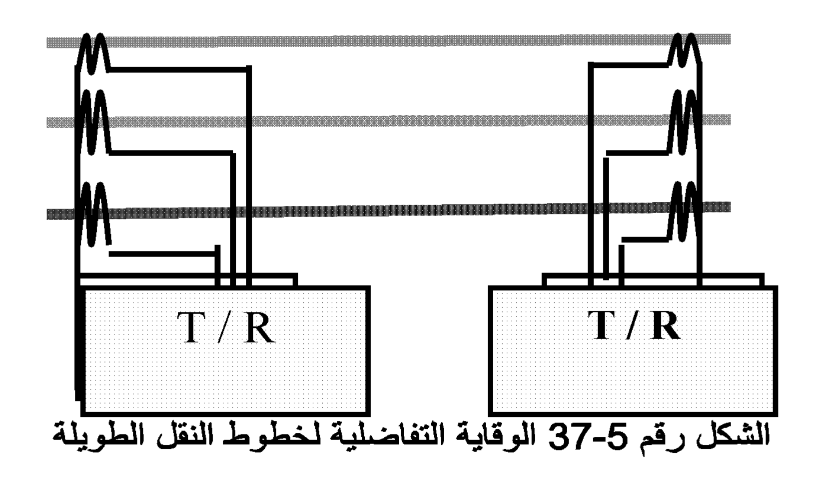


الشكل رقم 5-36 : دائرة وقاية تفاضلية لخط نقل قصير

أولا: الوقاية التفاضلية *Differential Protection*

من السهل الاعتماد علي الوقاية التفاضلية للخطوط والكابلات والمغذيات حيث يظهر فرق بين التيارات في الجهتين ويتم ضبطه من المقاومة المتاحة في دائرة الوقاية (الشكل رقم 5-36) وإذا كان الفارق كبيرا فساعد علي خفض حساسية المتممات من هذا النوع، كما أن مقدار الفقد يكون كبيرا وإذا زادت أطوال الخطوط بقدر يصعب معه تنفيذ هذا الرسم خصوصا لانخفاض الحساسية لها حتى وإن كانت الخطوط قصيرة.

من ثم كانت الحاجة إلي البديل وقد كان البديل من خلال وسائل الاتصالات بأسلوب المرسل والمستقبل ليحل الاتصال اللاسلكي بدلا من أسلاك دائرة الوقاية وهو ما نراه في الشكل رقم 5-37 حيث نري المرسل والمستقبل في كلا الطرفين من الخط ويقارن بينهما في كل جهة علي حدة لاتخاذ القرار بالفصل عند اللزوم .



الشكل رقم 5-37 الوقاية التفاضلية لخطوط النقل الطويلة

قد أدى هذا الطراز من المتممات عمله بنجاح وثم زاد الاهتمام بالخطوط عن ذي قبل واتجهت الأسس إلي قياس المقاومة للخط (الشكل رقم 5-38) فنجد محول الجهد يقيس الجهد ومحول التيار يقيس التيار والنسبة بينهما تعبر عن قيمة مقاومة الخط عند النهاية أو البداية حسب الأحوال وهو ما نتناوله في البند التالي.

ثانيا: الوقاية بقياس المعوقة Impedance Measurement

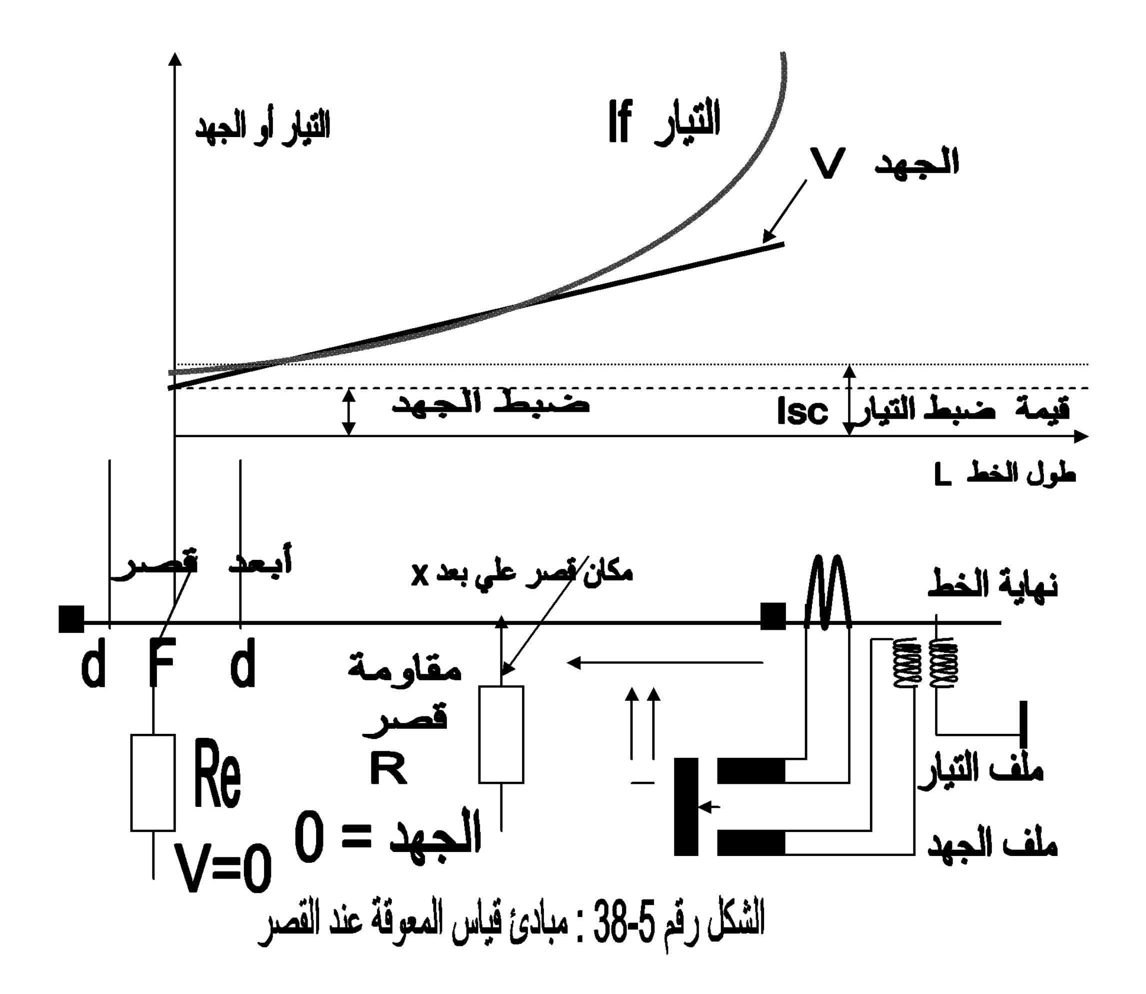
قياس المعوقة لخط ما يتوقف علي عدد من العوامل التي قد تتباين، كما إن عملية التحول من الطريقة التفاضلية لحماية الخطوط إلي أسلوب أفضل جاءت نتيجة ظهور أطوال للخطوط تمنع فكرة استخدام الطريقة التفاضلية أو ما كانت تعرف به بأسلوب المقارنة ومهما كان السبب فنحن هنا بصدد التعامل مع حقيقة ودقة التعامل مع قياس المعوقة لحماية الخطوط سواء الهوائية أو الكابلات الأرضية. من تلك البداية نقوم بشرح مبسط للخصائص الكهربائية لهذه الحالات مع وضع المتغيرات المتعلقة في الموضوع ذاته.

أ) خصائص الجهد والتيار وقت القصر Short Circuit Performance

كيفية التصرف الكهربائي لكلا من الجهد والتيار هام للغاية لتحديد كيفية التعامل معهما حتى نتوصل إلي الدقة المطلوبة وبالسرعة المناسبة للفصل التلقائي، واستكمالا لهذا المنهج نرى في الشكل رقم 5-38 مبادئ حساب قيمة مقاومة الخط في حالة ما إذا كان هناك قصر علي الخط عند النظر إلي الخط الكهربي في الشكل رقم 5-38 نجد أن حدود الفصل للقصر تقع علي البعد المحدد بالنقطة F حيث أن لها جهدا لا يساوي الصفر وإنما يحدد بالقيمة V_f ويفصلها عن الجهد الصفري المقاومة R_e وبالتالي يكون هناك تيارا محددا هو I_{sc} وتصبح المعوقة هي:

$$Z_f = V_f / I_{sc} \tag{5-19}$$

يتم ضبط المتمم علي أساس هذه القيمة ولكن هذه القيمة قد تتفاوت إلي حد ما لأن الجهد يتوقف علي قيمة التيار والمقاومة إلي نقطة الجهد الصفري وهي مقاومة القصر تبعا للمعادلة:



الشكل رقم 5-38 : مبادئ قياس المعوقة عند القصر

$$V_f = R_e \cdot I_{sc} \qquad (5\text{-}20)$$

تظهر إمكانية ثبات قيمة الجهد هذا بأن يكون حاصل الضرب للقيمتين ثابتا أي أن قلة قيمة المقاومة قد يعطي نفس الجهد إذا كانت أقل من تلك المحددة عند النقطة F أي أن هناك مسافة قدرها d بعد مكان حدود الفصل (الضبط) حيث تقل قيمة المقاومة بشدة وتدخل داخل نطاق الفصل بالرغم من أنها في الخارج كما نجد من الناحية الأخرى ولمسافة ثانية قد تطول أو تقصر حسب الأحوال وقد تقل المقاومة وينخفض التيار بحيث تصبح عند مسافة x نفس الظروف القصوى

$$Vx = V_f + Z(line\ part\ L\text{-}x) \cdot I_{sc} \qquad (5\text{-}21)$$

نصل بذلك إلي أن تيار القصر يتأثر بقيمة الجهد المقاس وقيمة المقاومة للخط حتى نقطة الخطأ ، كما نلاحظ أنه كلما كان الخطأ أقرب إلي نقطة القياس كلما زاد تيار القصر بشكل أسي ولهذا يكون الفصل هنا بالمتممات الزمنية هاما ويكون تحديد أبعد نقطة لضبط الخطأ عند نقطة مثل F وليس عند حدود القضبان كي لا تتداخل الوقاية معا وفي نفس الوقت يكون الفصل للمنطقة التالية بزمن تأخير محدد ويدخل فيها عندئذ القضبان بل يتعداها إلي ما بعد القضبان .

نؤكد علي أن الخلل في قراءة الجهد كي تصبح قيمة مساوية للصفر بدلا من القيمة المقننة للجهد علي طول الخط مع ارتفاع قيمة التيار الداخل إلي ملفات محول التيار في بداية الخط يؤدي إلي قياس المعوقة تبعا لما نراه في الشكل العام للخصائص الخاصة بالجهد والتيار أثناء القصر كما في الشكل رقم 5-38 علي النحو:

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \frac{V_f \quad (x + 1)}{I_{sc} \quad e^{a(L-x)}} \qquad (5-22)$$

من ذلك تكون المعوقة في أبسط صورة مثل

$$Z_{sc} = \frac{V_f \quad (x + 1) \quad e^{-a(L-x)}}{I_{sc} \quad (min)} \qquad (5-23)$$

كما نجد أن تيار القصر الأدنى قد يتحقق في أية نقطة علي طول الخط تبعا للشرط

$$I_{sc}\,(min) = V / Z(L - x) = constant \qquad (5-24)$$

ب) خصائص التشغيل R-X Diagram

إن طبيعة العمل مع قياس المسافة عن طريق قياس الجهد والتيار للموازنة بينهما لتحديد ما إذا كانت المسافة خارج حدود الحماية أم بداخلها. يعمل عندئذ المتمم بذلك إذا قلت النسبة بين الجهد والتيار مشيرة إلي صغر المعوقة وعلي هذا المبدأ ظهر النوع الأول للوقاية ضد القصر وهو متمم المعوقة Impedance Relay حيث يعطي الشكل رقم 5-39 العلاقة البيانية للمعوقة علي مستوي الممانعة / المقاومة والتي تتبع المعادلة

$$R^2 + X^2 = Z^2 \qquad (5-25)$$

في هذا النوع يعطي المتمم عزما يتناسب مع مربع التيار I^2 جهة ملف التيار بثابت تناسب K` (الشكل رقم 5-40) وبالمثل من الجهة الأخرى العزم T يتناسب مع مربع الجهد V^2 بثابت تناسب K`` بينما ثابت الياي الخاص بالقرص المتحرك هو K``` ومن ثم نحصل علي معادلة العزم في الصورة:

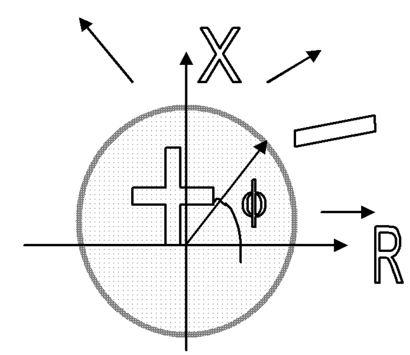
$$T = K`\, I^2 - K``\, V^2 - K``` \qquad (5-26)$$

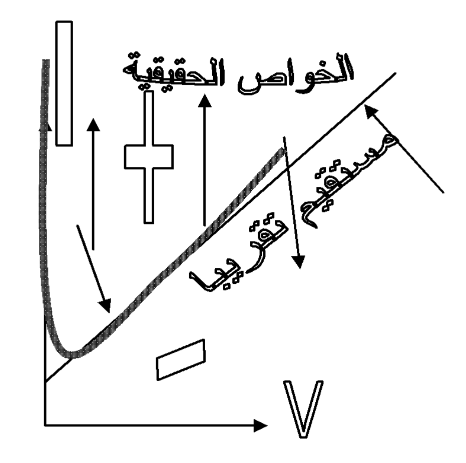
يظهر الاتزان عندما يتساوى العزم بالصفر أي لا يظهر أي عزم فتكون الحالة مستقرة وعندئذ نحصل من معادلة العزم السابقة علي

$$K`\, I^2 - K``` = K``\, V^2 \qquad (5-27)$$

بالقسمة علي عزم الياي ``K نصل إلي :

الشكل رقم 5-39 العلاقة البيانية للمعوقة





الشكل رقم 5-40 : خصائص التشغيل

$$\frac{V^2}{I^2} = \frac{K`}{K``} - \frac{K```}{K``I^2 R} \qquad (5\text{-}28)$$

يمكن تبسيط هذه المعادلة للحصول علي قيمة المعوقة في الصيغة:

$$Z = V / I = \sqrt{[(K`/K``) - (K```/K``I^2)]} \qquad (5\text{-}29)$$

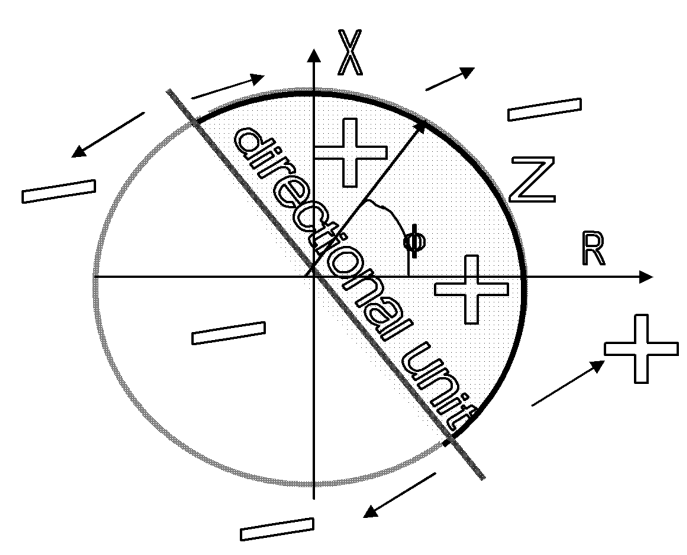
إذا ما كان عزم الياي مساويا الصفر فتصبح المعوقة قيمة ثابتة

If K``` =0, Therefore

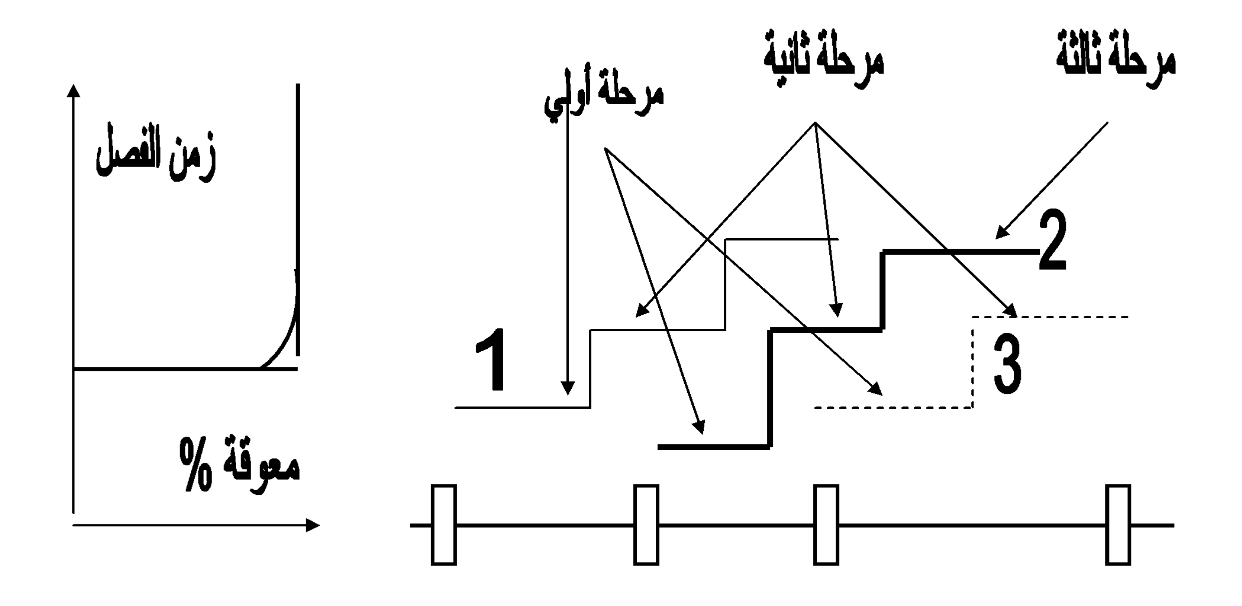
$$Z = \sqrt{[K`/K``]} = const \qquad (5\text{-}30)$$

تعني الخصائص المبينة في الشكل رقم 5-39 أن العزم يبدأ التأثير عندما تقع قيمة المعوقة داخل الدائرة بينما خارجها تكون المعوقة كبيرة ولا يعمل المتمم ولكن يعيب هذا أن دائرة التشغيل هذه تعمل مع القيمة السالبة وهو ما يمثل عيبا في هذه الخصائص بجانب أنها تتأثر بقيمة المقاومة فتصل إلي حالة under reach كما سبق التوضيح ، ومن ثم يلزم إضافة متمم لتوجيه هذه المقاومة لتكون في اتجاه الخط فقط وليس علي جانبي الشبكة كما نرى في الشكل رقم 5-41.

من الهام هنا التأكيد علي سرعة الفصل وتقسيم الخطوط المتتالية إلي مناطق متتابعة الفصل وبزمن فصل سريع في المرحلة الأولي ويسمي بذلك متمم المعوقة سريع الفصل (الشكل رقم 5-42) ويزيد زمن الفصل في المراحل المتتابعة علي التوالي كما هو مبين بالشكل.



الشكل رقم 5-41 : خصائص متمم المعوقة بالاتجاه

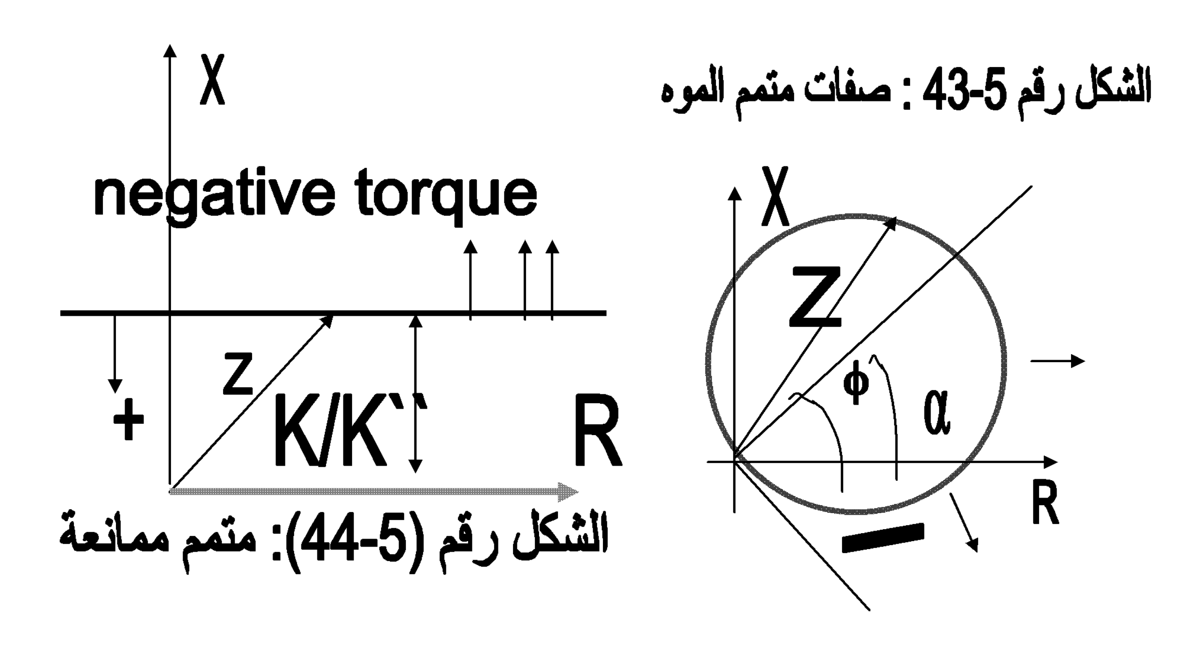


الشكل رقم 5-42 : مواصفات الفصل لمتمم المعوقة عالي السرعة

ثالثا: الوقاية بخصائص قيمة مقلوب المعوقة Admittance Relay

يسمى هذا النوع بأسماء عدة مثل متمم المعوقة بالزاوية **(Angle Impedance Relay)** أو متمم الموه **(Mho Relay)** ويختلف هذا عن سابقه في عدد من المزايا أهمها نقل محور دائرة المعوقة بحيث يمر المحيط بالصفر المحوري (الشكل رقم 5-43) فالحركة تتم بعزم قدره

$$T = K\ V\ I \cos(\phi - \alpha) - K``\ V^2 - K``` \qquad (5\text{-}31)$$



الشكل رقم 5-43 : صفات متمم الموه

الشكل رقم (5-44): متمم ممانعة

كما سبق في حالة المعوقة وبالمثل عند الاتزان (T = 0) نحصل علي

$$K``\ V^2 = K\ V\ I \cos(\phi - \alpha) - K``` \qquad (5\text{-}32)$$

Dividing by K`` V I we get:

$$Z = (K / K``) \cos(\phi - \alpha) - K```/K``\ V\ I \qquad (5\text{-}33)$$

If K``` = 0 ,

$$Z = (K / K``) \cos(\phi - \alpha) \qquad (5\text{-}34)$$

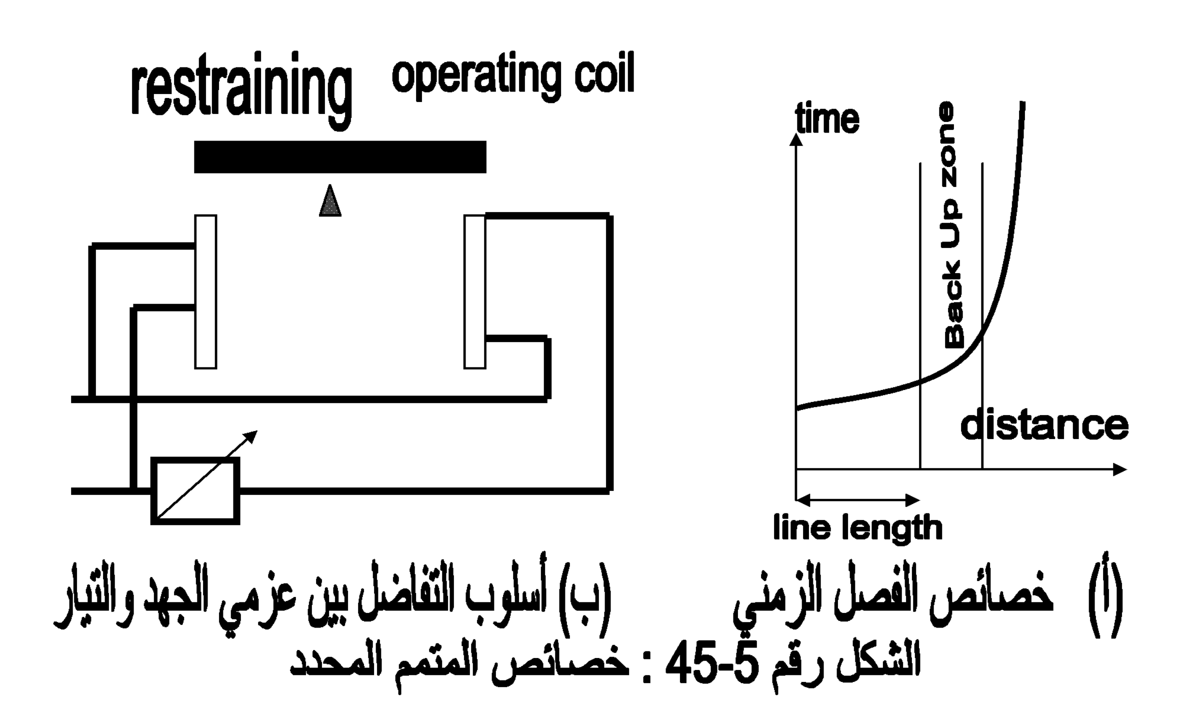
هذه عبارة عن معادلة دائرة نصف قطرها هو (K / K``) ونراها في الشكل رقم 5-43

نجد أن الصفات الخاصة بعدم تواجد إتجاه للفصل قد تضاءلت تماما وأصبح استخدام متمم الاتجاه أفضل وتتم عملية التشغيل للنقاط داخل الدائرة فقط .

رابعا: الوقاية بقياس ممانعة الخط Reactance Relay

تتبع الوقاية بقياس الممانعة بدلا من المعوقة (الشكل رقم 5-44) أسلوبا متباينا مع السابق حيث تكون معادلة العزم هنا المعادلة

$$T = K` I^2 - K\,V\,I \cos(\phi - \alpha) - K``` \qquad (5\text{-}35)$$



(أ) خصائص الفصل الزمني (ب) أسلوب التفاضل بين عزمي الجهد والتيار

الشكل رقم 5-45 : خصائص المتمم المحدد

عند الاتزان أي T = 0 نحصل علي

$$K` = K\,(V / I) \cos(\phi - \alpha) + K``` / I^2 \qquad (5\text{-}36)$$

If K``` = 0 , *negative torque*

$$K` = K\,Z \cos(\phi - \alpha) \qquad (5\text{-}37)$$

بينما عند الزاوية $\alpha = 90$ *نحصل علي*

$$K' = K\,(V/I)\,\sin(\phi) \quad or \quad X = K'/K \qquad (5\text{-}38)$$

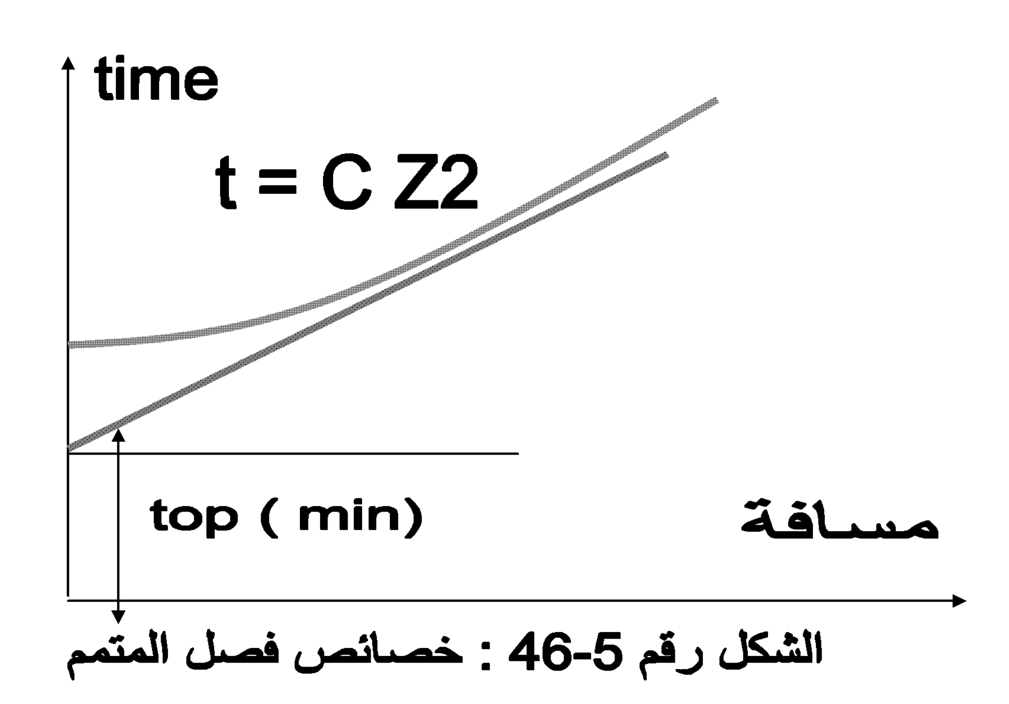
كما يستخدم بشكل جوهري تقسيما لفصل المتممات هذه علي النحو التالي

1- متممات محددة الفصل *Definite distance relay*

يستخدم مع كل الأنواع السابقة (impedance–Mho–Reactance type) ونري خصائصه في الشكل رقم 5-45

2- متمم المسافة الزمني *Distance Time Relay*

تعتمد خصائص هذا الأداء علي العلاقة بين الزمن والمسافة المحددة في الشكل رقم 5-46 ويستخدم عادة مع متمم المعوقة Impedance حيث يتحدد زمن فصل أدنى لا يمكن أن نسرع عنه وبعد ذلك يزيد زمن الفصل وهو ما يعني العلاقة بين معوقة طول الخط حتى مكان القصر، بهذا الشرح البسيط نكون قد وضعنا أيدينا علي جوهر أسس الوقاية للخطوط الكهربائية سواء كانت الخطوط الهوائية أو الكابلات الأرضية والمغذيات، أما عن التكامل بين هذه الوقاية وتلك الخاصة بالوقاية الاحتياطية لها أو استخدام وقاية المسافة كوقاية احتياطية فتعتبر من المراحل المتقدمة للمتخصص وعليه سنحاول في الفصول القادمة وضع مزيدا من الضوء عليها.



الشكل رقم 5-46 : خصائص فصل المتمم

منظومة الوقاية
PROTECTIVE SYSTEM

تتشكل وتتكون منظومة الوقاية بشكل عام من أكثر من دائرة وقاية تعمل معا في مجموعة واحدة لغرض أكبر من هدف الدائرة المنفصلة، حيث أن منظومة الوقاية تعمل علي تنفيذ ما هو مطلوب من كل دائرة وقاية مستقلة بذاتها كدائرة وقاية بينما تضيف منظومة الوقاية التنسيق بين كل دوائر الوقاية الداخلة في المنظومة. لهذا نجد أن منظومة الوقاية تمثل تجميعا لعدد من دوائر الوقاية وهي الدوائر المشتركة لحماية معدة بعينها. من ثم يكون هناك تخصصا جديدا لأداء كل منظومة وقاية كل علي حدة. لما كانت دائرة الوقاية من حيث النوع والهدف والتركيب والخصائص قد تم شرحها بالفصل السابق فيكون لزاما التعرض إلي ماهية منظومة الوقاية وخصائصها وخصوصا المسمى النوعي لها وهذا ما سوف نتعامل معه في البنود الحالية من هذا الفصل.

1-6: حماية المولدات Generator Protection

تقع هذه المنظومة علي رأس قائمة كل أنواع الوقاية العاملة في الشبكة علي وجه العموم ولهذا يجب التعامل من منطلق حماية المولد من أية أخطار أو أخطاء قد يتعرض لها وهذه العيوب نوجز أهمها في سياق البنود القادمة. من هذا التقسيم السريع لأنواع الأخطاء المحتملة توضع دائرة وقاية لكل منها ويتم تجميعها معا في منظومة واحدة تعرف بمنظومة وقاية المولد ولذلك نجد هذا التسلسل موجزا في السطور التالية.

أولا: حماية الجزء الثابت Stator Faults & Protection

يتكون المولد من ثلاثة أجزاء بالنسبة للتعامل مع أجهزة الوقاية وهي التي تتمثل في الجزء الثابت والجزء الدوار (المتحرك) بجانب ملفات المجال، ومن ثم نتعرض هنا للجزء الأول وهو العضو الثابت حيث أنه قد يواجه عددا من الأخطاء الكهربية. تتمثل هذه الأخطاء في الخطأ داخل الملفات الخاصة بالعضو الثابت وهي تنحصر في ثلاث محاور هي:

المحور الأول: قصر الطور مع الأرض Line Ground Fault

تنقسم هذا القصر إلي نوعين فإما أن يكون القصر بين الملف والقلب الحديدي iron core فيزيد من الحرارة في بقعة محددة وبالتالي نقاط اللحام أو الاتصال أو زيادة الحرارة over heating في الملف فتحطم العزل الخاص بها مع احتمال الخطورة بالوصول إلي تواجد حريق fire في العزل الخاص بالملفات أو في المنطقة عموما.

المحور الثاني: خطأ الطور مع غيره Line Line Fault

نظرا لخطورة هذا القصر وخصوصا مع ملفات المولدات لما لها من أهمية في تشغيل الشبكة فنجد أنه من الأهمية أن يوضع ترمومتر في فتحات ملفات العضو الثابت

المحور الثالث: قصر داخلي في نفس الطور Internal Phase Fault

هذا القصر الأخير ينطوي علي خطا الطور مع نفسه وهو ما يمثل الخطأ في القصر بيين الملفات المتتالية والمتجاورة داخل ذات الطور (turn to turn fault)، ومن ثم لا بد وأن الرعاية الهامة لأنه قصر غير واضح في الكثير من الأحيان.
بعد ما سبق من التحليل نصل بذلك إلي تلك الدوائر اللازمة لحماية الملفات الثابتة وهي التي تتنوع إلي:

1-الوقاية التفاضلية للملفات Differential Protection for Windings

هذه الوقاية هي السابق شرحها في الفصل السابق ،وهو النوع الذي ينفرد بعدد من المزايا وهي:

(أ) **سرعة الفصل** والتي تتراوح في حدود 15 ملي ثانية مع المتممات الساكنة

(ب) **إمكانية الضبط المنخفض لقيمة التيار** وذلك يساعد علي خفض مقننات الوقاية بالدقة المطلوبة ويرفع من قيمة هذه الدقة لحالات القياس والأداء.

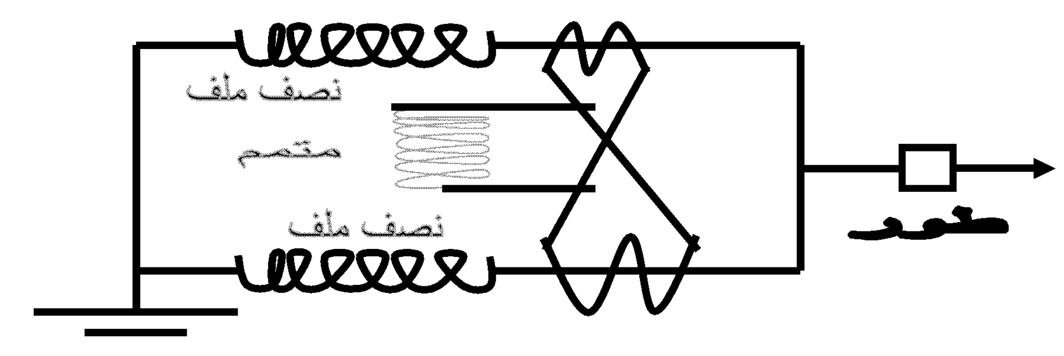
(ج) **الاستقرار الكامل مع القصر الخارجي** وهو ما يعني انعدام التأثير علي بقية المكونات في الشبكة أثناء الفصل أو بعده مما يشجع علي رفع درجة الاعتماد عليه في منظومة الوقاية لأي من الأجزاء الموجودة بالشبكة.

2- وقاية ضد التسرب الأرضي Earth Leakage Protection

وقاية التسرب الأرضي أيضا قد سبق شرحها.

3- الوقاية ضد الخطأ الداخلي في ملفات الوجه الواحد Windings Internal Fault

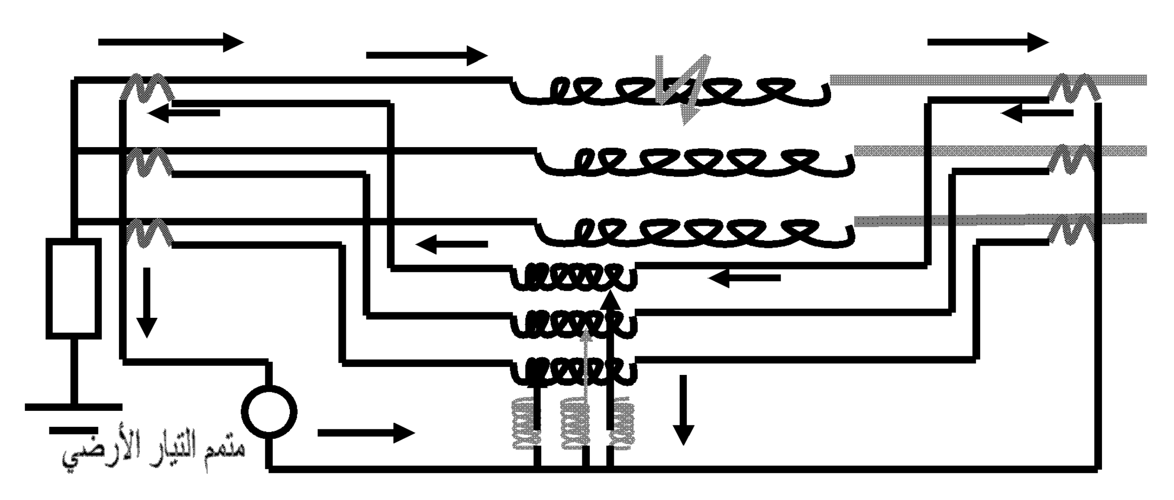
هي ما نراها في الشكل رقم 6-1 حيث نجد مع المولدات الضخمة فيتم تقسيم الملف للوجه الواحد إلي ملفين متماثلين موصلان علي التوازي وهما داخل مجاري الملفات ولأنهما متجاورين فقد يحدث بينهما قصر ولن تشعر به الوقاية التفاضلية للملفات لأن التيار الفرق ضئيل بين تياري الملفين، ومن ثم تضاف تلك الدائرة التفاضلية المبينة في الشكل فتتيح للمتمم الفرصة لفصل المولد إذا ما ظهر فرق بين تياري نصفي (ملفي) الوجه الواحد وتضاف هذه الدائرة إلي السابقتين ويدخلون مع بقية الدوائر في منظومة واحدة لحماية ملفات الجزء الثابت.



الشكل رقم 6-1 : وقاية الملفات من القصر بين اللفات

بالنسبة للملفات التي لا تقبل وضع محولات التيار أو تلك وحيدة الطور فيمكن الاعتماد علي مركبة التيار الصفري كبديل لنوع هذه الحماية مثل حالة إضافة دائرة وقاية تيار أرضي في دائرة الوقاية التفاضلية للملفات (الشكل رقم 6-2) وتصبح دائرتين في واحدة فتوفر دائرة كاملة تقريبا، كما أن هناك إمكانية الوقاية عن طريق الجهد الصفري عن طريق محولات الجهد بالدلتا المفتوحة في الجهة الثانوية وقد سبق شرح هذا الموضوع في الفصل الخاص بمحولات القياس، أما بالنسبة لدائرة الوقاية التي سبق شرحها لملفات العضو الساكن فيمكن إضافة وقاية التيار الأرضي بإدخال مقاومة وملف متمم التيار الأرضي في

دائرة الوقاية الخاصة بالوقاية التفاضلية (الشكل رقم 6-2) كما كان الحال مع دائرة الوقاية ضد زيادة التيار السابق شرحها في الفصل السابق. تتسم صفات هذه الدائرة المشتركة بثلاث مقننات هي:



الشكل رقم 6-2 : دائرة وقاية تفاضلية لملفات مولد بمتمم تيار أرضي

1- يلزم اختيار ضبط التيار في متمم الأرضي بمنتهى الدقة

يكون للمتمم عموما في حدود 10 – 50 % ويكون معدل ضبط اللقط pick up حوالي 5 – 50 % بينما زمن الفصل يقع بمقنن بين 5 و 20 ms والاستقرار الاندفاعي inrush stability بنسبة 5 أو 10 أو 15 ويمثل النسبة بين أقصى قيمة تيار قصر يمكن التوصيل عليه مباشرة إلي قيمة التيار المقنن.

2- يجب وضع الضبط

بحيث لا يفصل إلا إذا كان القصر داخل منطقة الملفات ولا يتأثر بالقصر خارج المنطقة علي الجهد العالي.

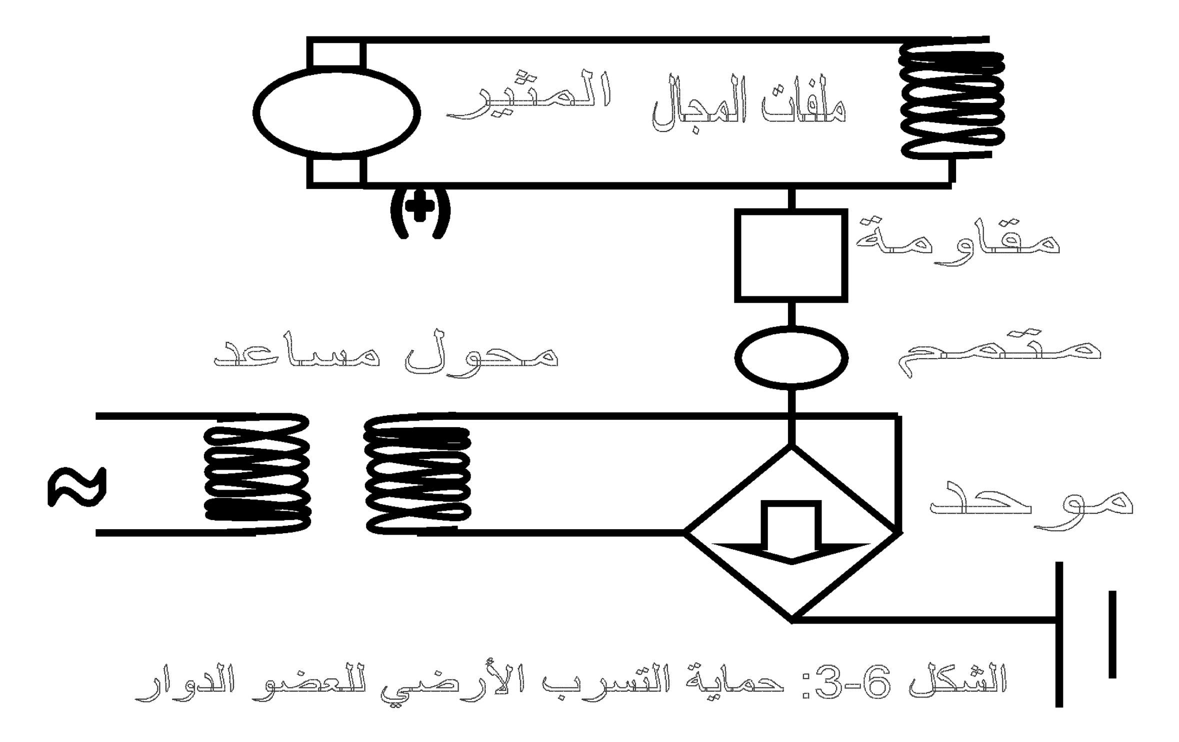
3- تتم حماية 80 % فقط من ملفات العضو الساكن للمولد

وتستهلك من القدرة حوالي 0.3 ف. أ.

ثانيا: حماية الجزء الدوار Rotor Protection

تتكرر ذات العيوب الخاصة بملفات العضو الساكن بجانب تلك الأخطاء الديناميكية وما قد ينجم من تحطيم لجزء من العزل نتيجة الدوران الميكانيكي وهي التي قد تحدث ونضيف إلي ذلك النوع الهام من الخطأ وهو ما يخص ملفات المجال وهو الجزء المهيمن علي ضبط إيقاع حركة العضو الدوار ويمثل هذا الخطأ ككل من أخطر الأنواع تدميرا من الناحية الديناميكية.
لهذا السبب يحتاج العضو الدوار إلي الحماية ضد التسرب الأرضي أو الاتصال مع الأرض وهو ما قد سبق شرحه في الفصل السابق كما يمكن وضع دائرة وقاية علي ملفات المهيج كتلك الموضحة في الشكل رقم 6-3.
قد يحدث فقدان المجال لأي فصل تلقائي للقاطع الخاص بدائرة المجال مسببا توقفه عن العمل فينتقل التأثير هذا مباشرة إلي العضو الدوار، لا يتم توصيل ملفات دائرة المجال بالأرض حتى لا يمر تيار عند القصر مع الأرض أو كي لا يقفل الدائرة علي جزء بين موقع الخطأ ونقطة الأرض ويحتمل ظهور مجال غير متماثل في دائرة المجال علي الأوجه الثلاث (إما لانقطاع أحد أقطاب قاطع دائرة المجال أو لحدوث قصر علي جزء من الملفات) فيعطي توزيعا غير منتظما وغير متماثلا للقوى المؤثرة ميكانيكيا علي العضو الدوار فتزيد من الضغط علي الكراسي وعامود الإدارة.
يتعرض العضو الدوار إلي زيادة السرعة over speed عن تلك المزمنة وقد تنتج عن إخراج الأحمال عن المولد فجأة لأن عجلة سرعة الدوران acceleration تعتمد علي القصور الذاتي والذي يتبع الصيغة ωR^2 فعند فقدان الحمل يجب أن

يتعرف المتحكم governor الخاص بالمولد والتوربينات بالاستعانة بالمغناطيس الثابت علي هذه الزيادة في السرعة لأنه المتلامس مع عامود الإدارة shaft فتصل الحالة إلي المتحكم فيعطي الأمر من خلال ميكانيزم الكرة الطائرة fly ball mechanism إلي البادئ للحركة كي يقلل سرعة الدوران، كما يمكن إضافة حماية ضد زيادة الذبذبة over frequency وعادة ما تستخدم نوعية متمم الزمن المحدد للفصل MDF.



الشكل 6-3: حماية التسرب الأرضي للعضو الدوار

جدير بأن نضع صفات فقدان المهيج (المثير) وتأثيرها علي المولد من حيث استمرار الدوران أثناء القصر وهو ما يمثل الخطورة التي تستوجب إيقاف المهيج وعدم ظهور مجال علي العضو الدوار حتى نتمكن من إيقاف تغذيته لتيار الخطأ.

ثالثا: التشغيل غير العادي Abnormal Operation

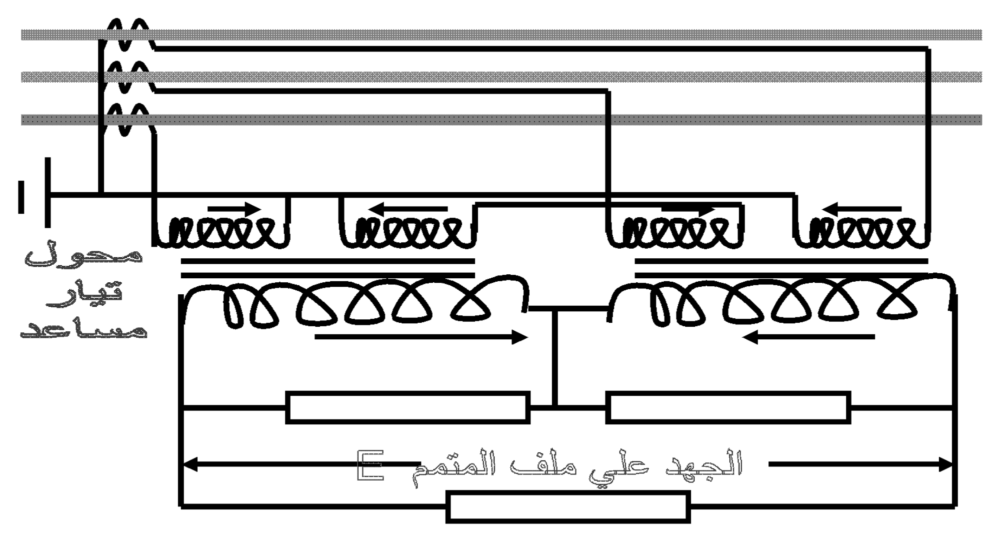
تأتي هذه النوعية من العيوب مع التشغيل غير السليم وهو ما يمكننا أن نصنفه في قطاعين

القطاع الأول: التشغيل غير المتزن Unbalanced Operation

تقع نوعية الأخطاء للتشغيل غير العادي في عدة نقاط هي:

أ) فقد التهيج excitation loss (الشكل 6-4)
ب) التحميل الزائد
ج) السرعة المرتفعة عن المتزامنة
د) عدم اتزان الأحمال unbalance وهو الخطأ الأكثر شيوعا
هـ) ارتفاع الجهد الزائد

و) انهيار المحرك الابتدائيprime mover
ذلك هو الوضع الذي قد ينجم عن:



الشكل رقم 6-4 : دائرة الوقاية بالمركبة السالبة للتيار

1- فصل خاطئ لأقطاب القاطع CB الخاص بالمولد أو آخر بالشبكة الكهربية علي الجهد العالي
2- تحميل غير متماثل وخصوصا بالقرب من شبكات التوزيع الكهربية
3- قصر غير متماثل وقريب جدا من المولد بالشبكة الكهربية فتصحبه السخونة المرتفعة والمتزايدة بشكل متفاقم.
ينتقل تأثيره في صورة حرارية تراكمية نتيجة مدة سريان هذا النوع من التيار I (أمبير) لمدة زمنية t بالثانية والتي تتبع الصيغة (I^2 t = constant) وتتراوح قيمة الثابت بين 20 و 30 ويعتمد هذا النوع من الخطأ علي تواجد المركبة السالبة حال ظهور قصر أو تغيير غير متزن بالشبكة الأصلية وبالتالي تظهر العيوب التالية:

1- يتحول العيب إلي حرارة فتظهر التيارات بالذبذبة العالية (الثانية)
2- تؤدي تيارات عدم الاتزان إلي سخونة العضو الدوار
3- تتولد اهتزازات شديدة في العضو الساكن وسخونته وهو ما قد يصل به إلي الدمار.

لذلك يستخدم للوقاية من مثل هذه الحالات متمم من النوع الزمن المحدد الأدنى للفصل IDMT ويعتمد علي قياس المركبة السالبة وإعطاء أمر الفصل فور ظهورها بالقدر المحدد حسب قيمة الضبط وتقيس المركبة السالبة إذا وجدت (شكل 6-4) فتعطي الأمر بالفصل مباشرة.

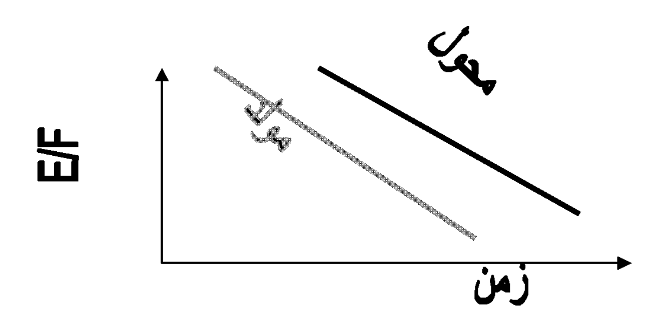
تظهر قيمة الذبذبة المقننة f لتشغيل الشبكة حدودا هندسية كمؤشر للتشغيل المعتاد وحدود التحول إلي الخطأ ومن ثم نجد أن العلاقة بين الفيض وكثافته B وبين بقية المعاملات المؤثرة علي الملف مثل عدد اللفات N ومساحة المقطع المار به A تتبع المعادلة المعروفة:

$$E = 4.44\ f\ A\ N\ B\ \times 10^{-8} \qquad (6\text{-}1)$$

بهذا نستطيع الحصول علي قيمة كثافة الفيض بوضع ثابت التناسب K في الصورة

$$B = (E / f \times 10^{-8}) / 4.44\ A\ N = K\ (E / f) \qquad (6\text{-}2)$$

تتناسب قيمة كثافة الفيض المتزايدة مع التيارات المغناطيسية فتسبب ارتفاعا في الحرارة وقد تزيد قيمة مجال التهيج أثناء محاولة الحفاظ علي ثبات قيمة الجهد علي القضبان بواسطة المتحكم ولهذا السبب نحتاج إلي العلاقة العكسية في الفصل الزمني وفصل المولد قبل المحول (الشكل رقم 6-5). تعتبر الوقاية بالذبذبة frequency من أهم الأنواع خصوصا مع شبكات التوزيع كما تتأكد أهميتها مع المولدات الصناعية industrial generators أو الخاصة بمواقع منفصلة وهي غير القادرة علي الفصل السريع فنحتاج إلي متمم انخفاض الذبذبة under frequency relay مع متمم تأخير زمني علي أن يغطي فترة الإنتقاليات ويقل عن زمن إعادة توصيل الدائرة، وهذا النوع يتعلق بخواص توصيل المولد سواء كانت أحد الأقطاب لم تتمكن من التوصيل أو خطأ مماثل لهذا في دائرة المجال أو أن التوصيل المتزامن فيه تجاوز كبير ولا يجب أن تقل الذبذبة عن 49 هيرتز. ويقدم أيضا الجدول رقم 6-1 النقاط الرئيسية للحالات غير العادية والتي قد يتعرض لها نظام التوليد في الشبكة عموما.



الشكل رقم 6-5: صفات الفصل بالذبذبة

الجدول رقم 6-1: بعض أنوع التشغيل غير عادي للشبكة الكهربائية

الحالة	التأثير	أسلوب الوقاية
تحميل حراري تحميل زائد ومستمر خلل في نظام التبريد	زيادة حرارية في ملفات العضو الثابت انهيار العزل الكهربائي للملفات	وضع ترمومتر في فتحات العضو الثابت والمبردات – إضافة وقاية زيادة حمل مع زيادة التيار
تغذية قصر خارجي	تحميل غير متماثل - ضغط ميكانيكي علي الملفات وعامود الإدارة – تأثير حراري	وقاية المركبة السالبة أو زيادة الحمل للمولدات الصغيرة
عيوب عضو ساكن (أوجه- أرض – لفات)	احتراق الملفات - نقاط اللحام في القلب الحديدي – فصل المولد	وقاية تفاضلية وتسرب أرضي ووقاية لفات
عيوب العضو الدوار مع الأرض	عدم تماثل القوى المغناطيسية الداخلية فتدمر عامود الإدارة والكراسي	وقاية التيار الأرضي
فقدان المجال	يتحول المولد المتزامن إلي نوع تأثيري ويأخذ تيارات المجال من الشبكة فتزيد السرعة	دائرة وقاية فقدان المجال
تحول المولد إلي محرك	تختلف التأثيرات تبعا للمتحكم	وقاية عكس اتجاه سريان القدرة
الجهد الزائد	انهيار العزل الكهربائي	مفرغات الشحنة

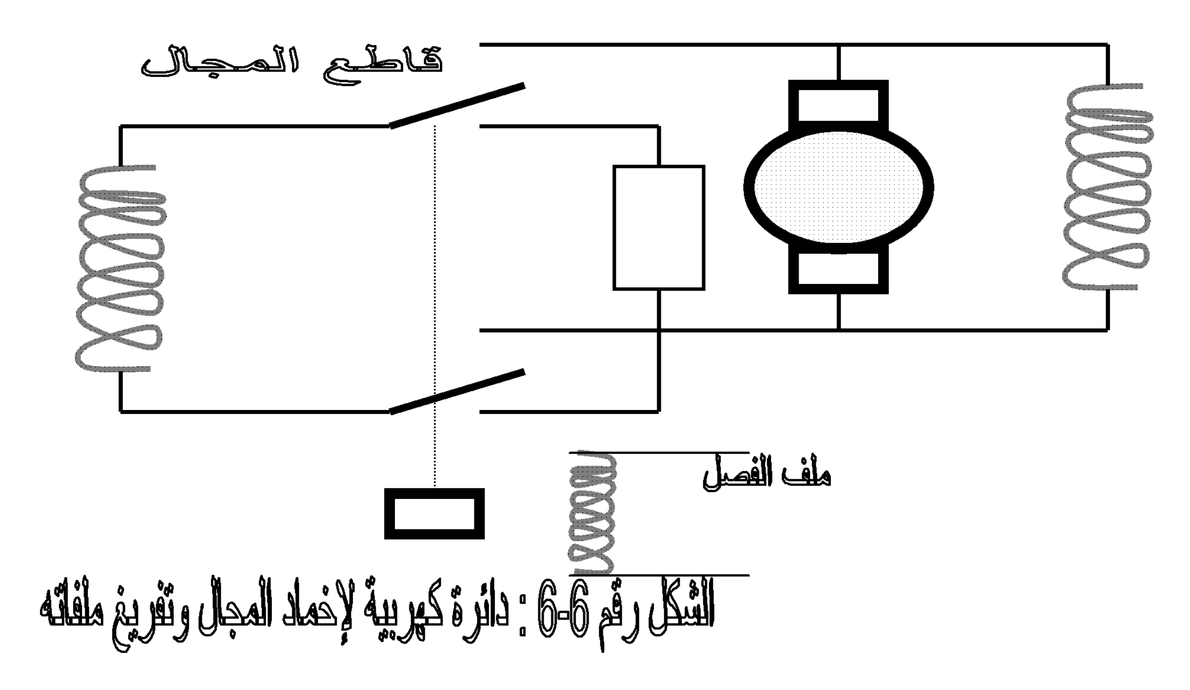
القطاع الثاني:التشغيل كمحرك Motoring Operation

تحول المولد إلي حالة العمل كمحرك ظاهرة طبيعية ويمكن حدوثها ولكن علينا منعها بقدر المستطاع ونجد في الجدول رقم 6-2 إحصائية بسيطة عن الحالات المحتملة لتحول التوليد إلي مستهلك عند تشغيل المولدات بدون حمل وذلك منسوبا إلي المقنن بالكيلو وات مما يضع أمام أعيننا أهمية التعامل مع عكس القدرة أو بالمعنى الأصح الوقاية من إنعكاس سريان القدرة وبالتالي تكون الحاجة الماسة للاعتماد علي متممات الاتجاه وهي التي تتأسس علي ظهور الترتيب السالب للجهد أو التيار وبالتالي يعني أن سريان القدرة في الاتجاه الخطأ مما يستوجب فصل المولد مباشرة.

جدول رقم 6-2 : النسبة المئوية للقدرة المعكوسة عند تشغيل المولدات في حالة بدون حمل

النوع	النسبة (%)	النوع	النسبة (%)
توربينات بخارية (بمكثف)	1 – 3	الديزل	25
توربينات بخارية (بدون مكثف)	3	التوربينات الهيدروليكية	0.2 - 2

من الناحية الأخرى تأتي الأهمية لعملية الالتزام بإخماد المجال المؤثر علي دوران المولد بناءا علي المبدأ المبين في الشكل رقم 6-6 والذي يوضح ضرورة تحويل دائرة المجال إلي تغذية مقاومة لتفريغ المجال بعيدا عن المولد وهي مقاومة تفريغ خاصة تمثل حملا كهربائيا، فبدلا من تغذية مجال إثارة المولد ينتقل تيار المجال إلي دائرة مقاومة التفريغ تلقائيا مع أمر دائرة الفصل في منظومة الوقاية.



الشكل رقم 6-6 : دائرة كهربية لإخماد المجال وتفريغ ملفاته

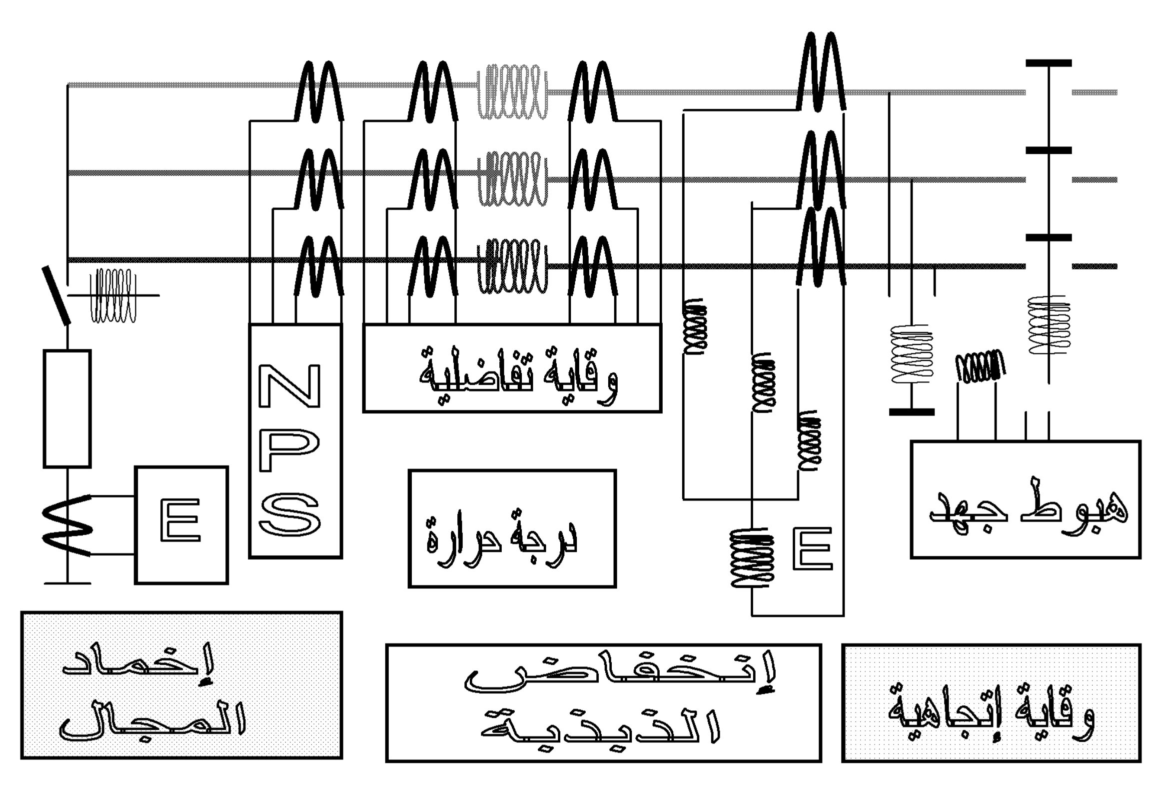
رابعا: منظومة وقاية المولد Protective System

بعد كل ما سبق نستطيع تجميع كل الدوائر الخاصة بوقاية المولد معا في دائرة واحدة وهي ما تعرف باسم منظومة الوقاية خصوصا وأن هذا التجميع يتأثر بحجم المولد كما نجد في الجدول رقم 6-3 والمبين لهذه الدوائر والمناسب منها تبعا لحجم المولد وهي مقسمة في أربعة مستويات بوحدات قدرة ميجا وات.

يعطي الشكل رقم 6- 7 الدائرة التوضيحية العامة لمنظومة الوقاية لمولد ككل في النهاية مبينا عليها كافة أنواع الوقاية غير أن مفرغات الشحنة تستخدم لحمايته من ارتفاع الجهد بجانب تلك المتممات وكل منها يعطي الفصل لأحد القواطع أو الكل بلا استثناء كي يمنع الخطورة عن المولد ففي الشكل يتواجد 3 قواطع الأول لدائرة المولد والثاني بعد نقطة التعادل والثالث يخص دائرة المجال وهي مع وقاية إخماد المجال، ففي الحالات الخطيرة علي المولد يتم فصل الثلاث قواطع بينما في حالات أخرى يكتفي بقاطع الأطوار أو الأرض فقط.

الجدول رقم 6-3 : نوعيات دوائر الوقاية المناسبة للمولدات المختلفة

دائرة الوقاية	أقل من 1م.و	من 1 – 10م.و	من 10 إلي 100	أكبر من 100
التفاضلية			#	#
تيار الأرضي			#	#
بين لفتين				#
زيادة تيار	#	#		
درجة حرارة		#	#	#
الترتيب السالب		#	#	#
فقد الحمل			#	#
فقدان وقاية عكس الاتجاه		#	#	#
تجاوز الحمل	#	#	#	#



الشكل رقم 6-7 : منظومة وقاية للمولد

2-6: المحولات Transformers

يتشابه المحول مع المولد في تواجد الملفات وضرورة وقايتها من الخطر بينما يختلفان في أسس الأداء والتشغيل مما يتسبب في التغيير في منظومة الوقاية ولذلك في وقاية المحولات نحتاج إلي العديد من الإضافات وهناك من الأخطاء الشائعة حصرا وإحصائيا بين المحولات العاملة بالشبكات الكهربائية عموما وهي:

1- قصر مع الأرض
2- قصر بين الأطوار
3- عيب في القلب المغناطيسي
4- قصر بين اللفات
5- الارتفاع الحراري
6- الانكسار الكهربائي للعزل
7- الانفجار

هكذا تكون هذه الموضوعات وغيرها محلا للتعامل مع موضوع الوقاية في المحولات حيث تحتاج إلي العناية بوجه خاص مما يتطلب تحديد البيانات الأساسية عن المحول بدقة مثل القدرة ونسبة التحويل ورقم مجموعة الملفات ومعوقة الملفات وحالة نقطة التعادل بالنسبة للجهد الصفري بالأرض ونوعيه المحول بالزيت أم بالزيت والماء أم بالغاز أو غير ذلك وكذلك مستوى القصر عند القضبان الرئيسية ووضعه في الشبكة الكهربائية.
تنقسم متممات الوقاية ودوائرها بالنسبة للمحولات علي النحو التالي:

أولا: أجهزة الوقاية Protective Devices

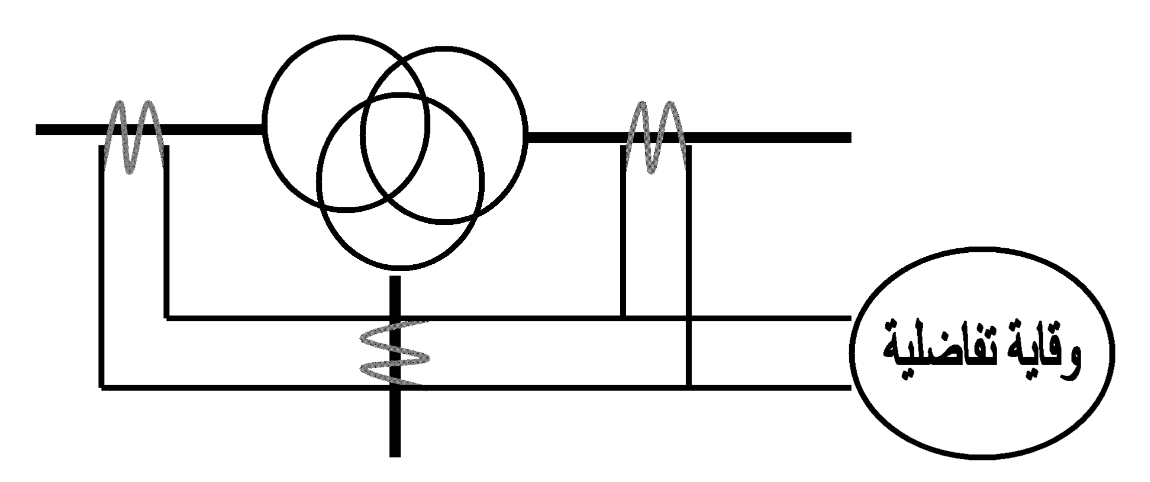
تستخدم هذه الأجهزة بغرض الكشف عن العيب وفصله آليا وتتباين بين المحولات الصغيرة لأقل من 100 ك. ف. أ. حيث تكون الوقاية بالمصهر ذو القدرات العالية في القطع HRC ولا يحتاج إلي إضافات أخرى إلا إذا كانت زيادة الحمل كوقاية حرارية، علاوة علي أنه قد نحتاج إلي وقاية زيادة الحمل مع مغير الجهد الآلي للمحولات الكبيرة ومفرغات الشحنة أيضا للقضاء علي ظاهرة الفجائيات في الشبكة، وجدير بأن نحدد أن تجاوز الحمل للمحولات أمر واقع ويتأثر بدوائر التبريد ونوعية السائل المستخدم للتبريد ومستوي العزل ولكنه قياسيا يتبع جدول 6-4.
كل محول من المحولات له بيان خاص بتجاوز الحمل ويظهر عادة في المستوى الأقل عن 125 % وفيه تزيد المدة الزمنية المسموح بها عن 125 دقيقة. بينما للمحولات ذات قدرات أعلي حتى 500 ك. ف. أ. نحتاج إلي إضافة وقاية زيادة التيار وعادة علي جهة الجهد الأعلى أما وقاية التسرب الأرضي فهي ضرورية لحالة جهد التلامس ومركبة الترتيب الصفري في التيارات، أما بالنسبة للمحولات الأكبر والمستخدمة في شبكات التوزيع الكهربائية وحتى 5 م. ف. أ. فتزيد دوائر الوقاية بها وتصبح جميعها أساسية ولا يجوز التغاضي عن أي منها وهي المحددة علي النحو التالي:

الجدول رقم 6- 4: بيان بتجاوز الحمل مع الزمن المسموح به في المحولات الكبيرة

نسبة التحميل (%)	125	150	175	200	300
زمن التحميل (ق)	125	45	15	10	1

1- وقاية تفاضلية Differential Protection

هي مثل تلك التي جاءت بالنسبة للمولدات ولكن يضاف هنا أن المحولات قد يكون لها ثلاث أطراف بدلا من أثنين للمولدات ولهذا يعرض الشكل رقم 6- 8 هذا النوع من المحولات وطريقة المفاضلة بينهم في رسم خطي من أجل التبسيط



الشكل رقم 6- 8 : الوقاية التفاضلية لمحول ثلاثي

2- التسرب الأرضي Earth Leakage

هنا يتواجد نوعين هما تيار المركبة الصفرية والذي يتعلق بالقصر إلي الأرض والنوع الثاني المتعلق بجهد التلامس بين جسم المحول المعدني ونقطة الجهد الصفري وهو تيار التسرب الأرضي.

3- زيادة التيار Over Current

هنا تظهر جهتين أو ثلاثة يمكن أن يوضع عليها هذه الوقاية ولكنه من المفضل تركيب متممات الزيادة في التيار علي جهة واحدة توفيرا وتبسيطا ولذلك توضع دائرة الوقاية ضد زيادة التيار علي ناحية الجهد العالي بين أطراف المحول جميعا كي يكون التيار قليلا وتصبح بالتالي الحساسية مرتفعة

4- زيادة الفيض المغناطيسي Flux Increase

يكون ذلك بسبب ارتفاع الجهد فيزيد من الفقد الحديدي والتيارات المغناطيسية فيصل إلي مستوى التشبع مما يؤدي إلي ارتفاع حراري في نقاط اللحام والربط في القلب الحديدي مثل ما يحدث تماما مع هبوط الذبذبة (الشكل رقم 6-9) وهو ما يظهر من خلال العلاقة الرياضية

التيار

zero / low current period

الزمن

الشكل رقم 6-9 : التيار المغناطيسي أثناء زيادة الفيض

الفيض المغناطيسي = ثابت (الجهد/الذبذبة) (3-6)

5- انخفاض الجهد Under Voltage

إن هذا هام لحماية الجهد علي الأطراف جميعا ولذلك يتواجد في المحولات الكبيرة مغير الجهد للحفاظ عليه باستمرار بل ويعمل آليا (علي حمل) مع كل تغير ليضبط علي القيمة المقننة

6- انخفاض الذبذبة Under Frequency

هو ما يؤثر بشكل مباشر علي اتزان الشبكة وتوزيع الأحمال بل واستمرارية التغذية في بعض الحالات.
بجانب ما سبق يزيد عنها دوائر أخري مع محولات الجهد العالي والفائق ذات القدرات الكبيرة مثل التعاقب السالب NPS والتعاقب الصفري Zero Sequence للحماية من جهد التلامس وكذلك الوقاية الحرارية لازدواجية وسط التبريد.

ثانيا: الوقاية بالخصائص الطبيعية والكيميائية Chemical & Physical Properties

في هذا البند نجد أنه من الهام تناول المظاهر المصاحبة لعملية انهيار العزل أو التبريد أو الخلل في مكونات وسط ما قد يؤدي إلي قياس حساس لبعض المعاملات وبالتالي تعطي الفرصة في حماية المعدة وهذا هو المتبع مع المحولات بكافة أنواعها وسبل تبريدها ومن هذه النوعيات لتغذية دائرة وقاية خاصة بها ما يلي.

1- متمم قياس الضغط Pressure Gauge

ظاهرة زيادة الضغط لسائل أو غاز أو أي وسط يعني وجود خلل ما أو الاقتراب من ذلك ونستفيد من ذلك في توجيه إنذار بالحالة غير المعتادة من أجل المراجعة والتأكد من سلامة التشغيل أو التخلص من العيب إن أمكن وإلا سيأتي الفصل التلقائي بعد فترة زمنية محددة أو إذا وصلت القيمة تحت القياس إلي القيمة المرجعية لذلك، وهذا النوع يحس بالشرارة داخل الزيت والمسببة للضغط أو الأحمال المرتفعة والمسببة للحرارة الشديدة والتي تتحول إلي ضغط في الأوعية المغلقة. هو يتكون من صمام معه ياي له ضبط بقدر الضغط المسموح به ومن ثم مع زيادة الضغط يتحرك الياي ليسمح بمرور هواء مضغوط يحرك ملامسات تعطي إشارة الإنذار.

2- متمم معدل ارتفاع الضغط Rate of Rise of Pressure

يختلف هذا النوع عن سابقه في أنه يقيس فرق الضغط ولذلك فهو غير مناسب للضغط الاستاتيكي مثل ذلك الذي ينتج عن الشرارة بل يحس بنوع آخر من خلال مفتاح كهربائي صغير يعمل مع الضغط الديناميكي وهو مناسب لأوعية (الخزانات) المحولات (التانك) والضغط بها ويعطي إنذارا بهذا الوضع إذا ظهر.

3- الوقاية الغازية Buchholze Relay

يعتبر جهاز الوقاية الغازية من أخطر الأجهزة العاملة في منظومة الوقاية للمحول خصوصا إذا عملت بالدائرة الثانية والخاصة بالفصل لأن هذا النوع من القياس يعتمد علي تجميع الغازات المتولدة داخل تانك المحول في جهاز هو المعني هنا

وحيث أن الغازات قد تأتي إلي داخل المحول من دوائر ديناميكيات التبريد للزيت مثلا ومن أعمال الصيانة وتكون غازات متبقية فيعمل جهاز الوقاية الغازية علي مرحلتين هما:

المرحلة الأولي: دائرة إنذار Alarm Circuit

ظاهرة الوقاية في هذه المرحلة تعطي إنذارا فقط علي مستوى مرتفع داخل علبة الوقاية الغازية والمسببة لانخفاض عوامة علي المستوى المرتفع upper bulb فتسبب تلامس الملامسات وتغلق دائرة الإنذار فتعطي الإنذار تحسبا للخطأ الناتج عن تجميع الهواء من دائرة التبريد كما يعطي الفرصة للمهندس المختص باختبار الغازات التي ظهرت عما إذا كانت قابلة للاشتعال لأن القابلية للاشتعال تعني وجود شرارة داخلية في العزل (ملف أو زيت)، أما إذا كانت الغازات غير قابلة للاشتعال فيكون الهواء متجمعا من الصيانة فيتم العمل علي التخلص منها مباشرة. أما في حالة وجود شرارة تعطي الغازات قابلة الاشتعال فعندئذ تحتاج إلي المزيد من الاهتمام غير أن هذه الحالة سوف تؤدي بالضرورة إلي تشغيل المتمم بالمرحلة الثانية (أي الفصل التلقائي للمحول من جميع الجهات).

المرحلة الثانية: دائرة الفصل Tripping Circuit

تعتمد هذه الدائرة علي الخطورة الواقعة علي المحول إذا استمر في العمل ولذلك تتصل بدائرة الفصل بل ويكون أمر الفصل موجها لجميع ملفات الفصل الرئيسية الخاصة بكل القواطع علي جميع الجهات التي يعمل عليها المحول دون استثناء ويمنع توصيل المحول إلا بعد إجراء الصيانة والاختبارات اللازمة، وتنقسم هذه النوعية من الوقاية إلي تلك الوقاية التفاضلية بالنسبة للملفات من حيث الخطورة والأهمية وأسلوب التعامل معهما واحدا.

ثالثا: وقاية الأمان والإنذار Alarm & Safety Protection

هذه المتممات التي تعمل في هذا النطاق ذات مجال واسع للضبط وهي في حقيقة الأمر تتغير من وضع إلي آخر ومن محول إلي نوعية مختلفة ففي المحولات العاملة بزيت المحولات يختلف الأسلوب والوضع عن المحولات المفرغة (المخلخلة) أو تلك العاملة بغاز سادس فلوريد الكبريت ولكن مبدأ الوقاية واحدا للجميع ونضع منها:

1- متمم ارتفاع الحرارة Temperature Rise

يعمل هذا المتمم علي ثلاث مراحل ففي المرحلة أولي (دائرة الإشارة) تقوم الدائرة بإعطاء الإشارة، إذا وصلت درجة الحرارة إلي الضبط المحدد في الجدول رقم 6-5 إلي حجرة التحكم وتقوم بتوصيل دائرة المبردات الاحتياطية تلقائيا للمساعدة علي تبريد المحول وخفض درجة الحرارة وفي المرحلة الثانية (دائرة الإنذار)، معلنا عن إستمرار ارتفاع درجة الحرارة بالرغم من تشغيل المبردات الإحتياطية وأنه عند الارتفاع بدرجة الحرارة حتى 95° م،تعطي إنذارا في حجرة التحكم بأن درجة الحرارة ما تزال ترتفع عن الحدود الطبيعية وذلك للتأكد من سلامة دوائر التبريد والمبردات الموجودة بالمحول وأية أسباب أخرى بينما المرحلة الأخيرة (دائرة الفصل التلقائي) تعلن أن درجة حرارة زيت المحول قد دخلت إلي منطقة الخطورة وتظهر هذه النوعية بالمحولات المعزولة بالزيت (بالمثل لمحولات العزل الغازي ولكن بدرجة حرارة مختلفة)، مما يلزمنا بتشغيل المرحلة الثالثة آليا كي تعطي أمرا بالفصل وعادة توضع عملية قياس درجة الحرارة في الزيت لعدم سهولة التعامل مع درجة حرارة الملفات وهي تبعا للمقنن المحدد في الجدول رقم 6-5.

الجدول رقم 6-5: مقننات ضبط درجة الحرارة لدوائر الوقاية ضد ارتفاع درجة حرارة زيوت المحولات

البيان	درجة الحرارة (° م)
تشغيل مبردات إضافية	60
إنذار	95
فصل تلقائي	120

2- مفرغات الشحنة Arrester

تعمل هذه النوعية علي منع الجهد من الارتفاع عن مستوى العزل وبالتالي تعطي مقاومة عالية جدا عند الجهد المقنن بينما تنهار المقاومة وتصل إلي الصفر تقريبا إذا ارتفع الجهد فتؤدي إلي خلق مسار سهل للتيارات في هذه اللحظة وتمر إلي الأرض دون المساس بالملفات حيث أن هذه الأجهزة تتصل مثل محولات الجهد مع الشبكة من جهة ومع الأرض من الناحية الأخرى، مما يعني أن مفرغات الشحنة ذات مقاومة غير خطية بل وحادة التغير عند مستوى جهد محدد لكل منها، وهي تتنوع تبعا لنظرية عملها مثل:

أ) مفرغ شحنة ذو العامود والثغرة Rod Gap
ب) مفرغ شحنة متعدد الثغرات Multi Gap Arrester
ج) مفرغ شحنة طارد Expulsion Arrester
د) مفرغ شحنة صمام Valve Arrester
هـ) مفرغ شحنة ثايرايات Thyrite Arrester
و) مفرغ شحنة معدني متأكسد Metal Oxide Arrester

تتمتع هذه النوعية من الوقاية سواء قياس درجة الحرارة أو أية كمية أخري بضمان سلامة تشغيل المحول والقضاء علي أي من مظاهر الخطر بل وعدم الوصول إلي حالات التشغيل الخطرة ويتم ذلك من خلال أجهزة القياس والإنذار من أجل الأمان بجانب أنها تحدد المحاذير التي يلزم تجنبها والعيوب المطلوب التخلص منها أثناء التشغيل والصيانة والمتابعة عموما، ولكنها جزئيا أو كليا تعتمد علي نوعية المحول كما يظهر ذلك من الجدول رقم 6-6.

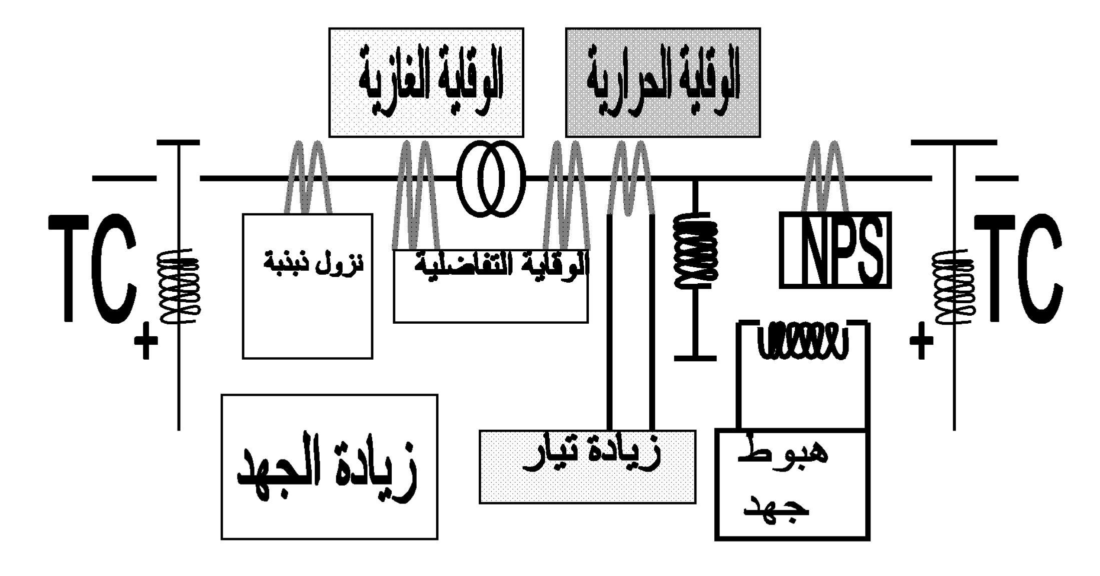
الجدول رقم 6-6 : بيان بنوعية المحولات المستخدمة لمبدأ أجهزة الوقاية والأمان

جهاز الوقاية	محول بالزيت	اسكاربل	تهوية جافة	مغلق
إنذار انخفاض مستوى الزيت Oil Level Gauge	#	#		
إنذار بالخلل في ضغط التفريغ *Vacuum Level Gauge*				
مفتاح الضغط / التفريغ *Pressure / Vacuum Switch*				
ظهور تسرب ضغط *Pressure Leakage Valve*	#	#		#
مبين ارتفاع الضغط المفاجئ *Sudden Rise in Pressure*	#	#		#
مبين ارتفاع درجة الحرارة *Temperature Rise*	#	#	#	#
إنذار النقطة الساخنة *Hot Spot Indicator*	#	#	#	#

رابعا: منظومة الوقاية للمحول
Protective System for a Transformer

ننتقل الآن إلي منظومة الوقاية الكاملة للمحول وسوف نلجأ إلي الرسم الخطي المفرد تبسيطا للرسم من جهة ولأننا نضع دوائر الوقاية في الشكل الصندوقي كما هو معطى في الشكل رقم 6-10. ذلك هو ما يمكن أن نبسطه بشكل عام لكل مستويات المحولات كما في الجدول رقم 6- 7. نتعامل في بعض الأحيان مع محولات متوازية التشغيل مما يزيد من الصعوبة في التعامل مع دوائر الوقاية لأنه دائما ما تظهر تيارات دائرة داخل المسارات المغلقة فتزيد من درجة حرارة المحولات ولذلك تحتاج هذه الدوائر إلي معاملة أجهزة الوقاية بعناية وتضاف فيها كلا من وقاية زيادة التيار / الاتجاه **directional over current** ووقاية التيار الأرضي / الاتجاه وذلك علي جانب الجهد المنخفض للمحول لمنع المغذيات السليمة من تغذية القصر حالما وجد.

بالنسبة لوحدة التوليد الكاملة (مولد + محول) كوحدة واحدة فيكون لها الحماية السابقة لكل منهما فالوقاية التفاضلية تشمل ملفات المولد والمحول معا بينما يكتفي بوقاية زيادة تيار واحد وتصبح المنظومة أكثر تعقيدا لعدة أسباب منها



الشكل رقم 6-10 : الرسم الخطي لمنظومة الوقاية لمحول

1- زيادة صعوبة ضبط المتممات ودوائرها خصوصا مع ظهور محولات مساعدة في الدائرة
2- تداخل عدد كبير من محولات التيار في المنظومة
3- التشبع في محولات التيار خصوصا مع زيادة البردن
4- اتزان المنظومة ككل أثناء الفصل التلقائي

مثال 6-1:

تمت حماية ملفات محول قدرة خفض بمقنن 100 kVA ، 2400 / 240 V والمطلوب اختيار نسبة محولات التيار المناسبة وكذلك إيجاد النسبة الفعالة للملفات الضابطة (N_r / N_o) (operating turns\to restraining turns) إذا كان المتمم سوف يسمح بالتيار حتى قيمة اللقط التي سوف تسمح بنسبة 20 % من التيار الابتدائي I_1

الحل:

تيار الابتدائي نحصل عليه من مقنن المحول في الصيغة

$$I_1(rated) = 100 / 2.4 = 41.7 \text{ A}$$

حيث أن نسبة التحويل هي المعادلة لقيمة التيار الثانوي فنجد أن

$$I_2 = I_1 (N_1 / N_2)$$

من ثم نجد أن قيمة التيار الثانوي هو

$$I_2\,(rated) = 10\ \ I_1 = 417\ A$$

بوضع الدوائر الساكنة والرقمية داخل دوائر الوقاية يمكن التغلب علي هذه العيوب أو أغلبها.

الجدول رقم 6-7: بيان موجز للوقاية الخاصة بمحولات القدرة

العيب	الوقاية	الملاحظات
انهيار عزل ملفات أو زيت	وقاية غازية - متمم ضغط مفاجئ – تسرب الضغط	الوقاية الغازية للمحولات ≤500 ك. ف. أ.
قصر داخلي	وقاية غازية للمحول ولمغير الجهد وقاية تفاضلية - زيادة تيار	وقاية بطيئة للمحولات ≤ 5 م. ف. أ. متمم ذو فصل سريع
تشبع الدائرة المغناطيسية	وقاية زيادة الفيض - زيادة الجهد	للمحولات الهامة
الاتصال مع الأرض	تفاضلية - تسرب أرضي	للمحولات الكبيرة - فصل فوري أو متأخر
عيوب عامة	تدرج زمني - مصهر HRC	شبكات التوزيع - للمحولات الصغيرة
زيادة الحمل	حراري - درجة الحرارة	مزدوج حراري - مراحل ثلاثية
الصواعق والفجائيات	ثغرات - مفرغ شحنة	للمحولات الصغيرة - تضاف إضافة لتلك للخطوط

باختيار محول تيار لدائرة الابتدائي بقيمة 50 / 5 وللثانوي بقيمة 500 / 5 ونفرض أن $(k = N_r\ /\ N_o)$ وهي النسبة التي يجب أن تتحدد كي تتحكم في حساسية المتمم ومن ثم نجد أن:

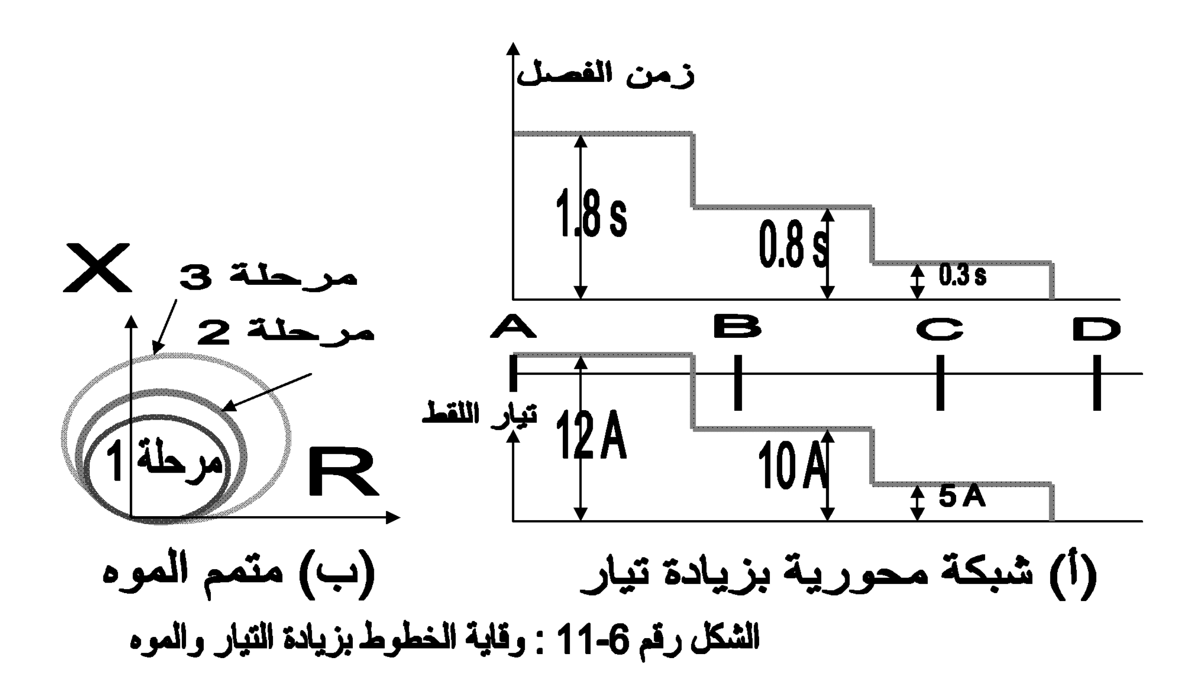
$$I_2 = 0.8\ I_1 \quad \& \quad (2 - k) = (2 + k)\ 0.8\ \ ,\ 1.8\ k = 0.4\ \&\ then\ \ k = 0.222$$

3-6: الخطوط Transmission Lines

سبق الحديث عن متممات المعوقة والموه والممانعة وهذه كلها من الأجزاء الهامة عند التعامل مع منظومة الوقاية للخطوط وهي تشمل الخطوط الهوائية والكابلات الأرضية وفي هذا الشأن نجد أن وقاية الخطوط تشمل:

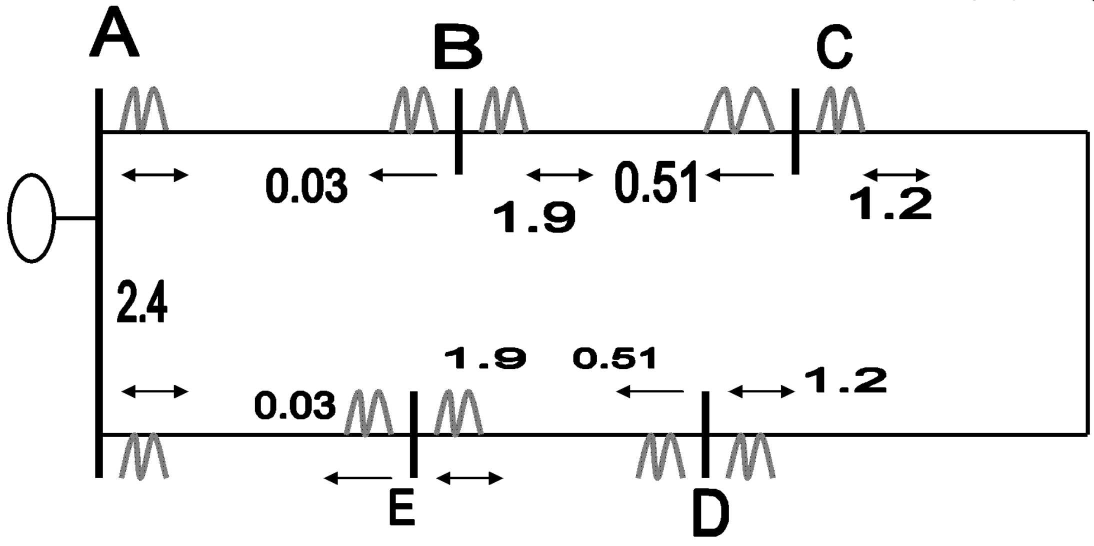
1- وقاية زيادة التيار Over Current Protection

يتفرع هذا النوع إلي التدرج الزمني أو بالاتجاه أو محدد التيار، وقد يستخدم الأسلوب التفاضلي مع المغذيات القصيرة short feeders وقد يعيبه عدم ملاءمة زمن التأخير time lag مع القصر أو أنه قد لا يناسب الشبكات الحلقية بجانب أنه يحتاج إلي التعديل المستمر مع كل تطوير في الشبكة وهو أمر بالغ الصعوبة.
نجد أنه كما في الشكل رقم 6- 11 المحدد لشبكة محورية محدد بها محولات تيار (200 / 5 أ) مقنن والرسم يحدد أن هذا التدرج قد يكون مع الزمن فقط أو التيار فقط ولكن في النهاية لابد وأن يكون مع كليهما، كما أن المرحلة يجب أن تكون في حدود 80 % من الطول الكلي للخط وليس 100 % حتى لا يتداخل المتمم هذا مع وقاية القضبان أو المحولات في المحطة الطرفية . رجوعا إلي التدرج فمع الزمن بالثانية نجد التدرج يستلزم متمم زمني بتأخير محدد أو مع قيمة التيار والمحدد بتيار اللقط مرحليا وهي تختلف عما إذا ما كان المتمم به وقاية اتجاه أم لا وقد يظهر من الشكل الحلقي وبه وقاية الاتجاه في بعض القضبان بالشبكة حيث يتم إسراع الفصل مع تحديد الاتجاه وعموما يكون الفصل فوريا في المرحلة الأولى ويكون ضبطها علي قيمة التيار المساوية 150 % من قيمة أقصى تيار قصر ثلاثي الوجه، بينما يأخذ الطراز العكسي بعد ذلك ويستخدم النوع IDMT من المتممات الزمنية.



الشكل رقم 6-11 : وقاية الخطوط بزيادة التيار والموه

بالنسبة لقيمة الضبط فهي تعتمد علي قيمة تيارات القصر ومستوياتها وفي هذه الحالة كانت عند القضبان A بقيمة 3.6 ك. أ. و B بقيمة 2.9 وأخيرا عند C هي 2.2 ك. أ.، أما بالنسبة للشبكة الحلقية فنجد أن مستويات القصر مبينة في الجدول رقم 6- 8 تبعا للاتجاه والضبط الزمني بالثانية مبينا علي الشكل رقم 6-12 مع إظهار نوعية الوقاية مع الاتجاه مع محولات تيار بنسبة 300 / 5 أ.



الشكل رقم 6-12 : الضبط الزمني مع مختلط نوعية الاتجاه

الجدول رقم 6-8 : قيمة مستويات تيار القصر (ك. أ.) علي القضبان في كلا الاتجاهين

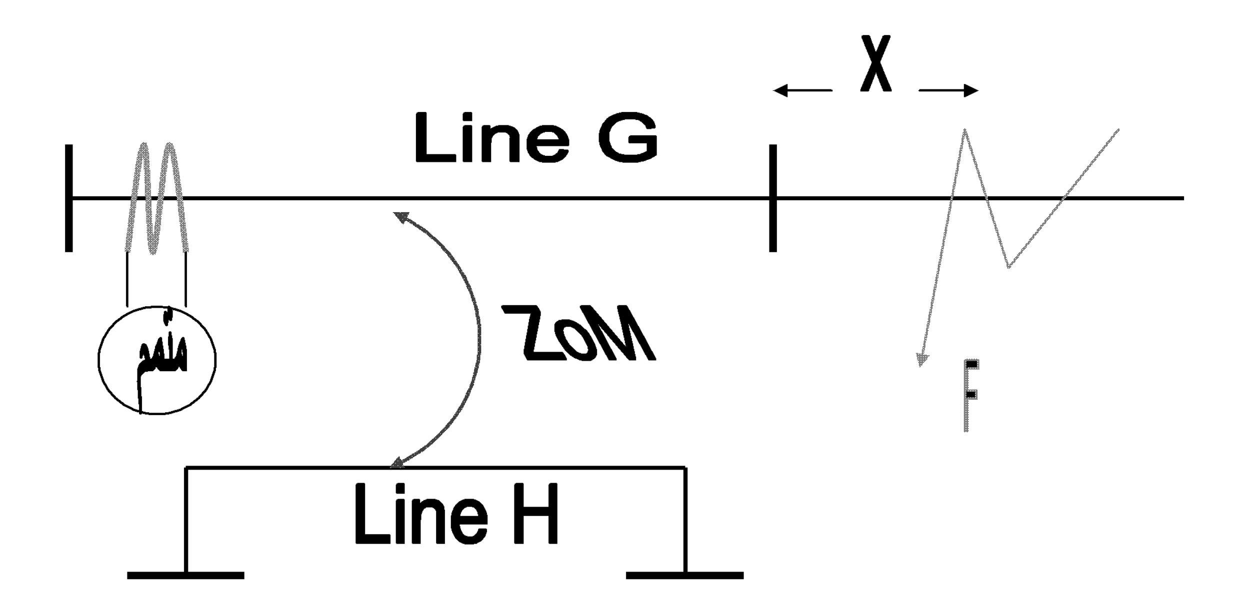
القضبان	اتجاه ABCDE	اتجاه AEDCB
A	12	12
B	8	8
C	5	5
D	3	5
E	2	2

معامل زيادة (تشبع) الوصول over reach وهو المحدد بعلاقة ضبط مقاومة اللقط بالمتمم Z_R وقيمة اللقط الفعلي مع القصر Z_F سواء كان الأمبير أو أوم فتصبح الصيغة

$$\text{Over reach \%} = (Z_F - Z_R) / Z_R \qquad (6\text{-}4)$$

هذا المعامل قد يظهر مع الدائرة المبينة في الشكل رقم 6-13 حيث يقترب خط مؤرض من ذلك الذي عليه قصر فقيمة ضبط متمم الخط الأول نسبة إلي التأثير المتبادل بين الخطين معاملا لظهور التيار في الخط ويصبح

$$I_{HO} = I_{GO} (Z_{OM} / Z_{LO}) \qquad (6\text{-}5)$$



الشكل رقم 6- 13 : تشبع الوصول علي خطين متجاورين مع التأثير المتبادل

يقيس المتمم الجهد

$$V_{GR} = (1 + x)(I_{G1}\, Z_{L1} + I_{GO}\, Z_{LO}) - I_{HO}\, Z_{OM} \\ = I_{GO}\, [(1 + x)(2\, Z_{L1} + Z_{LO}) - \{(Z_{OM})^2 / Z_{LO}\}] \quad (6\text{-}6)$$

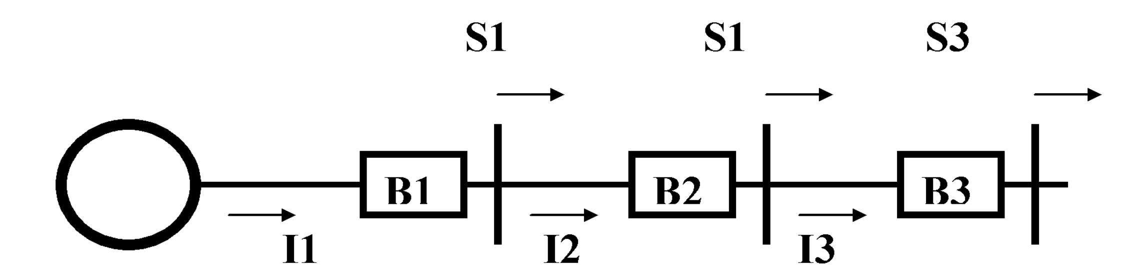
أما التيار الذي يصل المتمم فهو

$$I_{GR} = I_G + I_{GO}\, (Z_{LO} / Z_{L1} - 1) = I_G + I_{GO}\, (K- 1) = 2\, I_{G1} + I_{GO}\, K \quad (6\text{-}7)$$

عند ضبط التيار فمن الضروري ضرب القيمة المساوية أقصى مستوي قصر في المعامل 1.25 لتغطية تواجد مركبة التيار المستمر من أجل الضبط الجيد لقيمة لقط المتمم.

مثال 6-2:

لشبكة الخطوط محورية الشكل كما في الشكل رقم 6-14 بجهد 13.8 kV تمت الحماية ضد زيادة التيار باستخدام متمم لكل وجه في دائرة الفصل التلقائي يعمل تبعا لمحولات التيار الموضوعة علي كل طور كما في الشكل رقم 6- 15 وقد تم حصر معاملات المنظومة في الجدول رقم 6-9 والجدول رقم 6-10 وتمت جدولة بيانات المفاتيح للمتمم في الجدول رقم 6 - 11 والجدول 6-12.



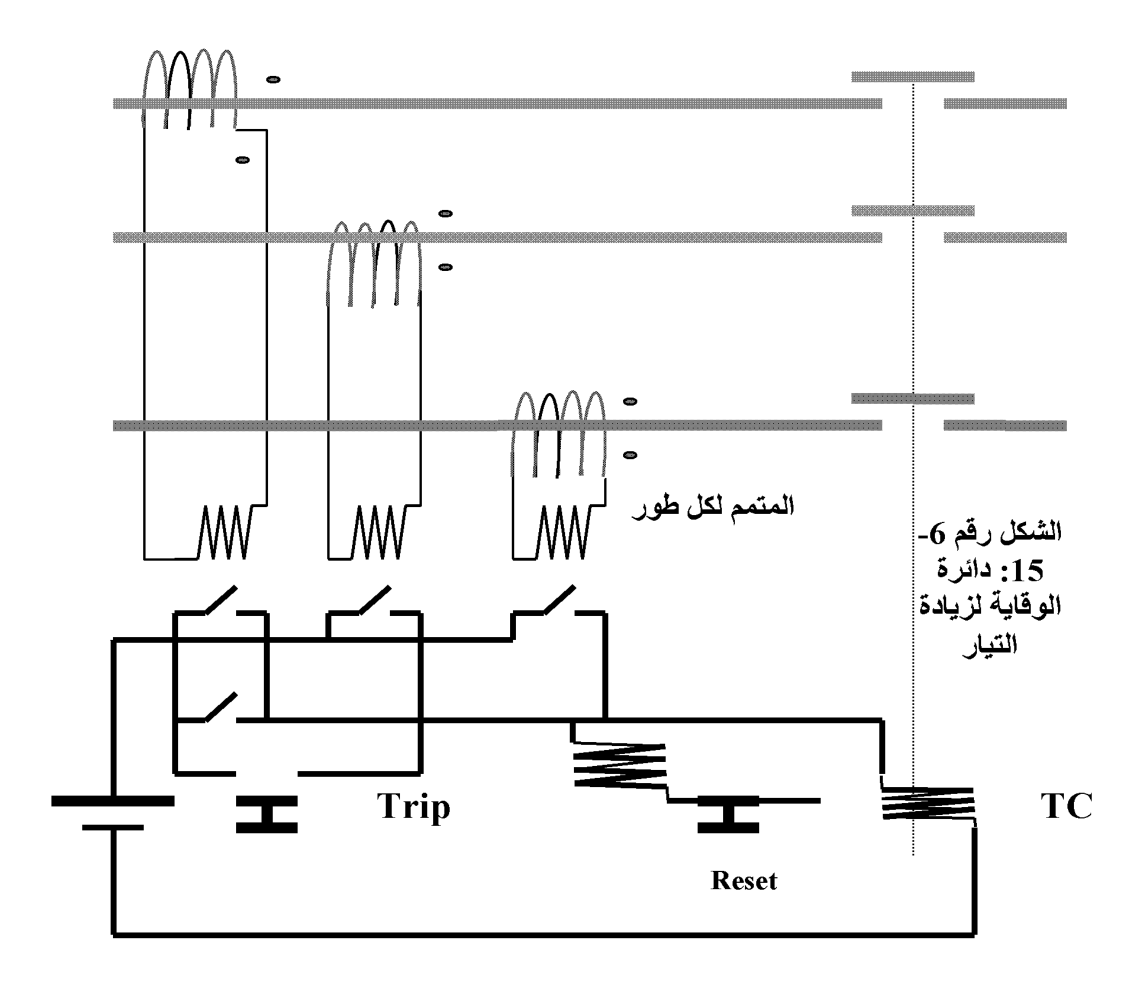
الشكل رقم 6- 14: شبكة محورية من خطوط 13.8 kV

الجدول رقم 6-9: نقاط ضبط المتمم المستخدم

ضبط زمن TDS		ضبط تيارCTS
5	½	4
6	1	5
7	2	6
8	3	7
9	4	8

الجدول رقم 6-10: أقصي حمل للشبكة

رقم قضبان	أقصى حمل	
	S (MVA)	معامل قدرة متأخر
1	8.5	0.9
2	3	0.9
3	5	0.9



الشكل رقم 6-15: دائرة الوقاية لزيادة التيار

الحل:

المطلوب تحديد ضبط التيار(current tap setting) لكل متمم وتعرف اختصارا (CTS) وكذلك الضبط الزمني (time dial setting) وهي أيضا تعرف اختصارا (TDS) حيث أن جميع المتممات متماثلة ولهذا نحسب ضبط التيار ونبدأ من نهاية الشبكة أي المفتاح B3

$$I_3 = S_3 / V = 5 / 0.0138 \sqrt{3} = 209 \text{ A}$$
$$I_3 \text{ (RELAY)} = 209 \text{ A} / (400 / 5) = 2.61 \text{ A}$$

إذا كانت أقل نقطة ضبط للتيار للمفتاح B3 هي 4 أمبير فسوف نعتبرها اختيارا وبذلك يكون

CTS = 4 A

بالنسبة للقاطع B2 نجد أنه يري الحملين S3 و S2 حيث أن لهما نفس معامل القدرة فيمكن جمعهما جبريا بدلا من المتجهات ويكون التيار هو

$$I_2 = (S_3 + S_2) / V = 8 / 0.0138 \sqrt{3} = 335 \text{ A}$$
$$I_2 \text{ (RELAY)} = 335 \text{ A} / (400 / 5) = 4.18 \text{ A}$$

الجدول رقم 6-11: أقصي تيارات قصر بوحدات الأمبير للشبكة

3	2	1	نوع القصر
رقم قضبان			
2496	2808	3120	3 طور
2304	2592	2880	L - E
2368	2664	2960	L - L
2432	2736	3040	L – L - E

يمكننا اختيار ضبط التيار أعلي من الأخير وبذلك نختار 5 أمبير للمفتاح أما بالنسبة للقاطع B1 حيث يري مجموع الثلاث قدرات (S1 , S2 , S3) فنجد

$$I_1 = (S_3 + S_2 + S_1) / V = 16.5 / 0.0138 \sqrt{3} = 690 \text{ A}$$
$$I_1 \text{ (RELAY)} = 690 \text{ A} / (800 / 5) = 4.31 \text{ A}$$

الجدول رقم 6 - 12: بيانات القاطع / المتمم

زمن فصل القاطع (Cycles)	مقتن محول التيار	نوع المتمم	رقم القاطع
6	5/800	X	B1
6	5/400	X	B2
6	5/400	X	B3

من ثم نختار الضبط 5 أمبير

بالنسبة للضبط الزمني TDS فيتم الاعتماد علي أسوأ الأخطاء أي أكبر قدرة قصر وهي دائما قصر الثلاث أوجه حيث أن يكون مطلوبا الفصل السريع ونختار البداية من نهاية الشبكة ونختار الأقل وهو 2/1 للقاطع B3 حيث أنها تمثل خصائص المتمم في أسرع فصل

$$I_3 \text{ (RELAY)} / CTS_3 = [\{2496 / (400 / 5)\} / 4] = 7.8$$

من الجداول الخاصة بالمتمم نحصل علي الزمن المقابل لهذه القيمة وهي 0.15 ثانية والذي يضاف إليه عمل القاطع وهو 6 دورات أي 0.1 ثانية ولذلك يكون الزمن للقطع عند نهاية الشبكة هو $T_{3\ OPENNING} = 0.15 + 0.1 = 0.25$ S

كما يلزم إضافة 0.3 ثانية في مرحلة الفصل التالية لتغطية الحركة الخاصة بالمتمم وأخطاء الحسابات والتقريب فيها ولهذا يكون الضبط الزمني هو

$$T_{2\ SETTING} = 0.15 + 0.1 + 0.3 = 0.55\ S$$

بالمثل ننتقل إلي القاطع الثاني $(RELAY) / CTS = 7.8\ (4 / 5) = 6.24\ _2\ I_2$

من ذلك نختار من الخصائص التي تمثل أداء المتمم بأن يكون تقريبا $TDS = 2$

بالنسبة للقاطع الأخير يكون الزمن هو $T_2 = 0.55 + 0.1 + 0.3 = 0.95\ s$

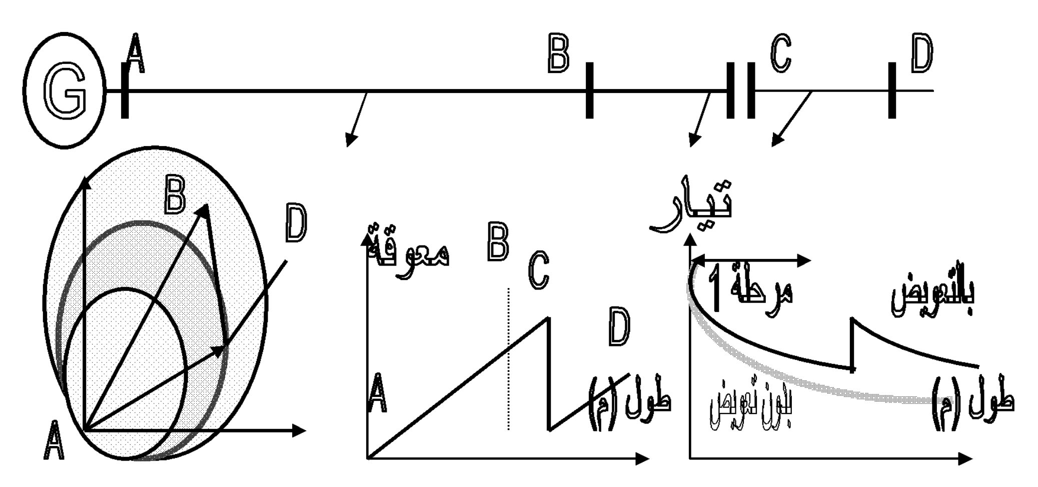
$$I_1\ (RELAY) / CTS_1 = [\{2808 / (800 / 5)\} / 5] = 3.51$$

الجدول رقم 6-13 : خصائص وقاية المسافة للخطوط

القيمة المؤثرة	الخصائص	ملاحظات
المعوقة Plain Impedance	JX, R	تتأثر بجهتي التوصيل - تتأثر بمقاومة القصر تتأثر بخصائص المولد (تأرجح) - يصلح للأطوال الكبيرة - يعمل داخل الدائرة
المعوقة والاتجاه Directional Impedance	JX, R	محدد اتجاه تشغيل المتمم
الموه (المسامحة) Admittance	JX, R	لا يتأثر مع تأرجح المولد تأثير مقاومة القصر ضعيف يفضل للخطوط الطويلة
موه ضبط Offset Mho (ضبط المسامحة)	JX, R	يعمل كاحتياطي لوقاية القضبان لا يتأثر بصفة تأرجح المولد
ممانعة وموه Reactance aided Mho	JX, R	للخطوط القصيرة
بيضاوي Oval Lens)(Double	JX, R	يمكن المقارنة الجيدة مع الدوائر الساكنة لا يتأثر بصفة تأرجح المولد صفات ضيقة الخصائص (جيدة) يعمل في الربع الموجب
الزاوية quadrangle	JX, R	مع المتممات الساكنة عديدة المقارنات صفات في منطقة صغيرة لا يتأثر مع تأرجح المولد لا يعتمد علي قيمة الشرارة إلي الأرض

2- وقاية المعوقة أو الممانعة Impedance Protection

الخصائص الفنية لقياس المعوقة هامة لتحديد المسافات التي عندها القصر ونجد أن ما نراه في الشكل رقم 6-16 فهو عبارة عن خصائص متمم الموه مع خطوط بها تعويض السعة والمحدد به مراحل الفصل بتلك الدوائر المحورية معا ويكون التشغيل عاديا خارج الدائرة وإذا ما انتقلت نقطة العمل من الخارج إلي الداخل كان لازما الفصل ويكون فوريا في المرحلة 1 وهي أصغر دائرة بينما يزيد الزمن في المرحلة 2 ثم يزيد في المرحلة الأخيرة من مراحل التدرج في الفصل وقد تعطي متممات الممانعة تمييزا أفضل في مثل هذه الحالات، ويمكننا المقارنة مع ذلك المتمم بالمعوقة كما جاءت خصائصه في الشكل رقم 6-11. ينظم الجدول رقم 6-13 كافة البيانات الهامة لوقاية المسافة .



الشكل رقم 6-16 : خصائص متمم المعوقة مع خطوط بها تعويض السعة

تعمل هذه القيمة بشكل فعال مع خطوط الجهد الفائق 500 أو 750 أو 1150 ك. ف. حيث نري في الشكل رقم 6- 16 التصرف العام مع الخط بالتعويض المعتمد علي محطة سعة علي التوالي في الخط وهو ما يظهر الخصائص بوجودها أو لا لبيان الفرق بين الوضعين، ولهذا نحتاج إلي المتمم R2 في الاتجاه العكسي كضرورة للتركيز علي الخلل في قياس قيمة المعوقة عند وجود قصر بعد السعة وبالتالي تظهر خصائص العمل.

S E

الشكل رقم 17 -6

F

R E

مثال 6- 3:

في الشكل رقم 6 - 17 والممثل لخط كهربائي بطول k حيث حدث قصر عند النقطة F علي الخط مقاسة من نقطة الإرسال S. E. علما بأن متمم الوقاية قد تم تشغيله عند نقطة الإرسال S. E. من المعطيات المرافقة:

$$Z_o = 3 Z_1 \quad \& \quad (z_{11})^o = (z_{22})^o = 0.3 Z_1 \quad \& \quad (z_{12})^o = 0.2 Z_1$$

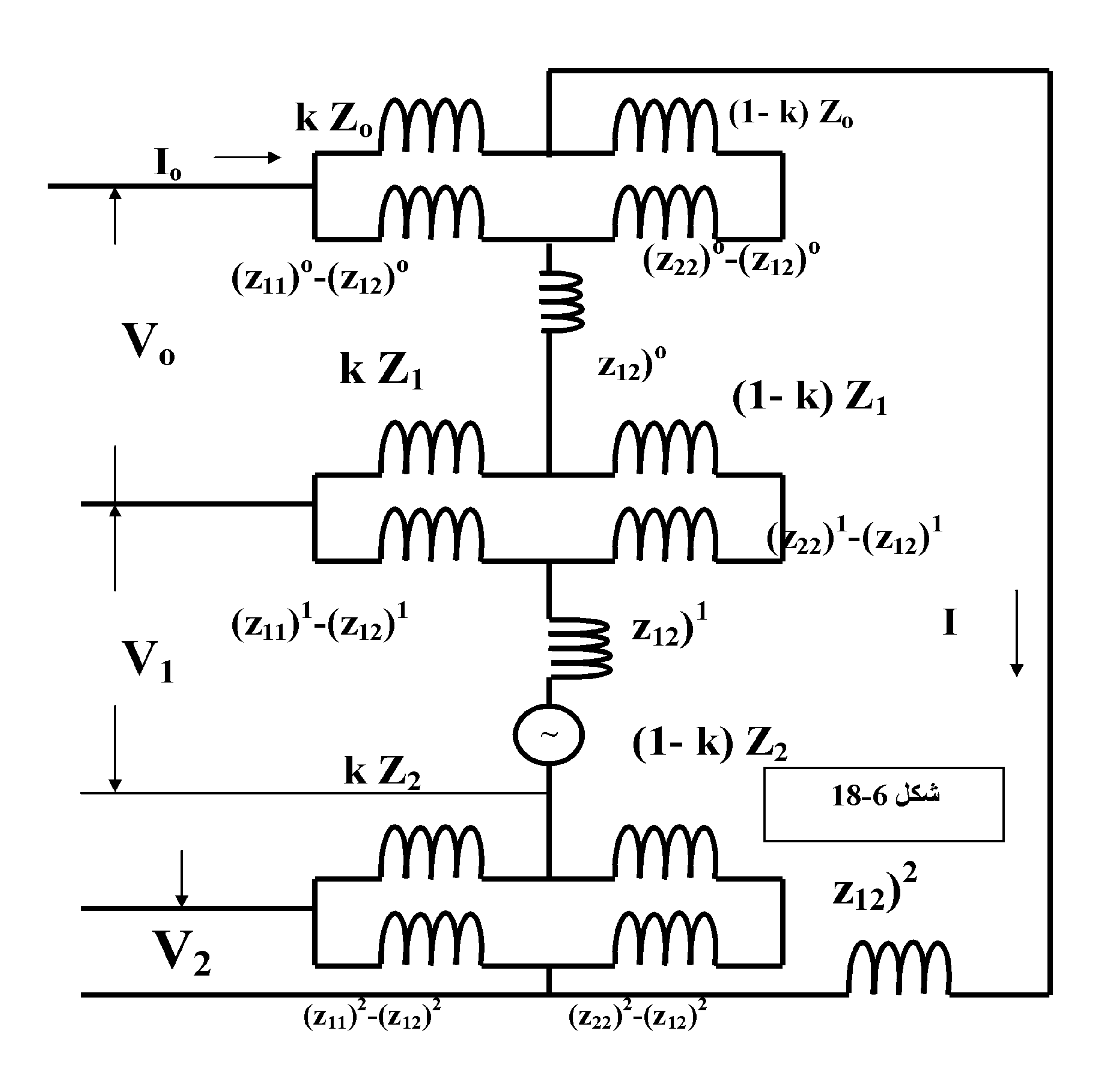
$$(Z_{11})^1 = (z_{11})^2 = (z_{22})^1 = (z_{22})^2 = 0.4 Z_1 \quad \& \quad (z_{22})^1 = (z_{22})^2 = 0.3 Z_1$$

المطلوب حساب قيمة التي تكون حساسة لحدوث القصر بين الطور والأرض علي الطور a.

الحل:

يمكن حساب المركبة الصفرية للتيار علي النحو:

$$I_o = \frac{(1-k)\,Z_o + (z_{22})_o - (z_{12})_o}{Z_o + (z_{11})_o - (z_{12})_o + (z_{22})_o - (z_{12})_o} \times I$$



شكل 6-18

ذلك التعبير الذي يمكننا التعبير عنه في الصورة

$$I_o = \frac{(1-k)\, 3\, Z_1 + 0.1\, Z_1}{3\, Z_1 + 0.1\, Z_1 + 0.1\, Z_1} \times I$$

وهكذا نحصل علي

$$I_o = (0.969 - 0.938\, k)\, I$$

بالمثل نحسب المركبة الأولي (الموجبة) والثانية (السالبة):

$$I_1 = (0.917 - 0.833\, k)\, I$$
$$I_2 = I_1$$

ننتقل لحساب قيمة التيار الطوري في الطور الحادث به القصر فنحصل علي:

$$I_a = I_1 + I_2 + I_0 = (2.803 - 2.604\, k)\, I$$

ثم نحسب المعوقة في الطور المقصر (الشكل رقم 6 - 18):

$$Z_a = k\, Z_1 + k\, (Z_0 - Z_1)\, (I_0 / I_a)$$

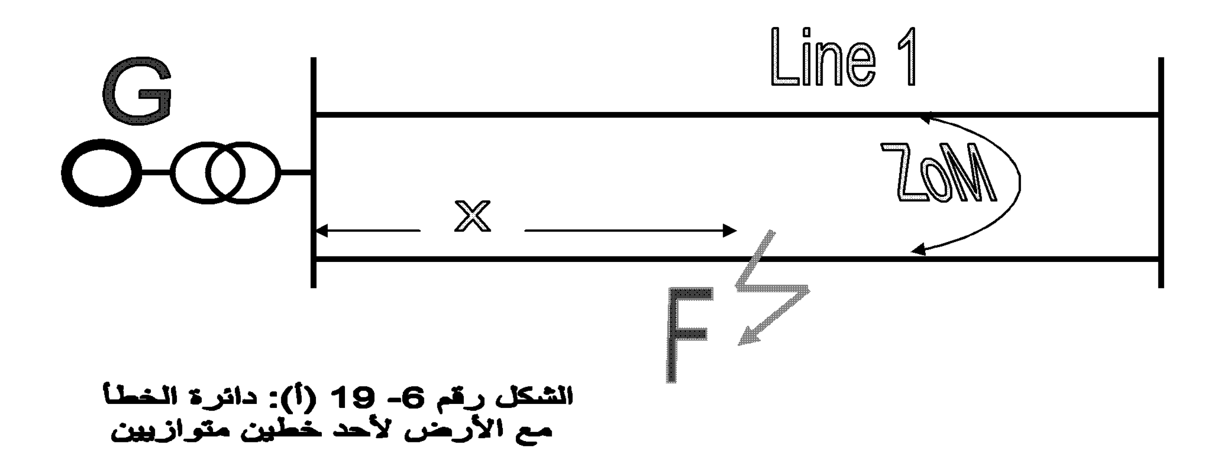
عند نهاية الخط تكون المعوقة الطورية هي $Z_a = 1.312\, Z_1$ & at $k = 1$

$$Z_a = \{k + 2\, k \times \frac{0.969 - 0.938\, k}{2.803 - 2.604\, k}\}\, Z_1$$

أما في منتصف الخط تصبح المعوقة بالقيمة

at $k = 0.5$ $\quad Z_a = 0.833\, Z_1$

بالتالي تكون نسبة المعوقة عند منتصف الخط المقصر إلي المعوقة الكلية هي:



الشكل رقم 6- 19 (أ): دائرة الخطأ
مع الأرض لأحد خطين متوازيين

$$0.833\ Z_1 / 1.312\ Z_1 = 0.635$$

مما يوضح أن النسبة بين طول الخط وقياس المقاومة ليس خطيا أي أن هذه النسبة بين منتصف الخط والطول الكلي كمعوقة ليست منصفة أي أنها تنحرف عن القيمة 0.5 ولكنها تزيد قليلا.

3- وقاية ضبط الجهد Voltage Protection

هذا الضبط قد يكون تحديدا لزيادة الجهد حفاظا علي مستوى العزل أو انخفاضه خوفا علي استقرار الشبكة أثناء التشغيل ومتمم وقاية زيادة الجهد يختلف عن مفرغات الشحنة المعتادة للقضاء علي الموجات المسافرة عبر الخطوط أثر ضرب الصاعقة لأحد أوجه الخط أو حتى السلك الأرضي فينتقل بالتأثير بجزء نسبي أقل إلي الأوجه ولكنه يظل هائلا في القيمة وخطيرا في التأثير.

4- وقاية الخطوط بالذبذبات العالية HF Protection

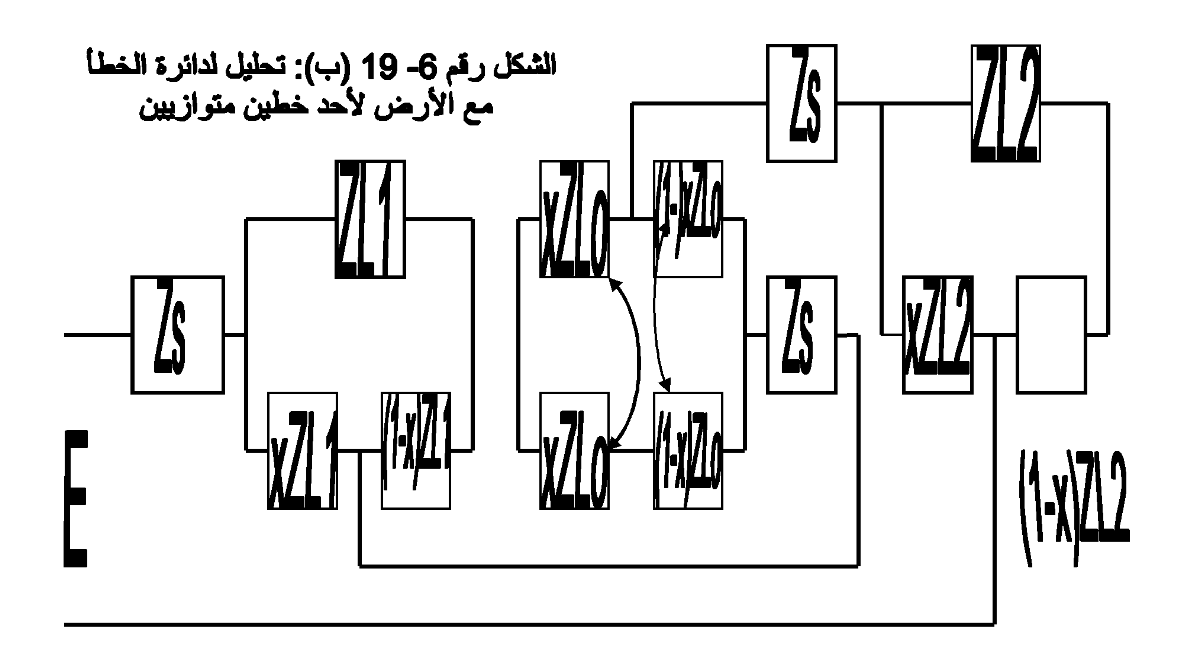
من الممكن أن يتم هذا بالموجات عالية التردد سواء كانت موجات الراديو (مدى 1000 – 3000 ميجا هيرتز) لوقاية المغذيات أو الكاريير للخطوط الطويلة وحديثا يدخل معهما أو بدلا منهما شبكة الحاسب الآلي.

5- وقاية تجاوز الحمل بالفصل المتأخر Over Load Delay Protection

ذلك لأن الفصل المتأخر هو عبارة عن وقاية احتياطية وهي عادة تتراوح في حدود الدقائق ولذلك فهو فصل متأخر جدا ويصلح ذلك مع ضبط التيارات الصغيرة في مستوى القصر علي المتممات تحديدا وفي دوائر الوقاية عموما.
أما عن الخطوط المتوازية Parallel Lines كما في الشكل رقم 6- 19 حيث الرسم الخطي للشبكة وبها كابلات متوازية بجانب الدائرة المكافئة لربط المركبات الثلاث (الموجبة والسالبة والصفري).

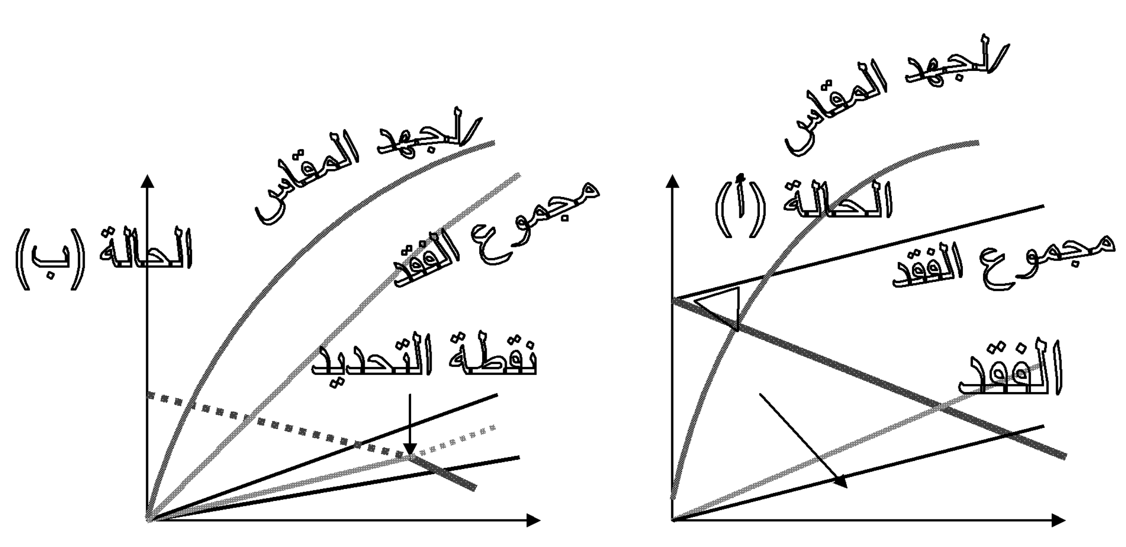
يظهر من الحالة الأولي في الشكل رقم 6 – 20 أن:

(أ) تعطي منطقة التشغيل السيئ عند قيام المتمم علي الخط 1 بعمله وهذا يتحدد في بداية الرسم بين خطي مجموع الفقد والجهد المقاس بينما في الحالة الثانية



الشكل رقم 6- 19 (ب): تحليل لدائرة الخطأ مع الأرض لأحد خطين متوازيين

(ب) يختفي هذا العيب حيث أن الصفات محددة وأختفي وجود هذا الخط المعبر عن مجموع الفقد من الرسم تماما.
يأتي المعامل فقد الوصول under reach في حالة الخطوط المتوازية قد ظهر علي نقيض الخط المستقل وهو



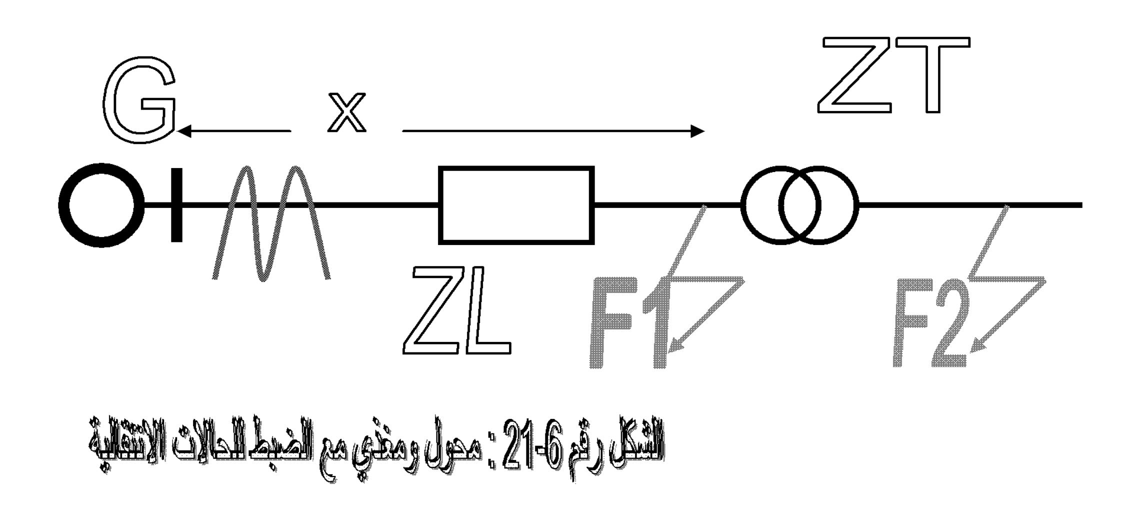
الشكل رقم 6-20 : التعويض المتبادل في الخطوط المتجاورة

$$\text{under reach} = Z_{line2}\,(\text{inside}) \times I_{Fline2} / I_F \qquad (6\text{-}8)$$

من ثم نصل إلي المعامل المئوي لفقد الوصول علي النحو

$$\textit{under reach\%} = \textit{under reach} / \textit{relay reach} \qquad (6\text{-}9)$$

هذا التشبع أو النقص في تشغيل المتمم ذاته يكون هاما مع الحالات الفجائية وهكذا يعطي الشكل رقم 6- 21 شبكة كهربائية تتكون من مغذي ومحول لحمل ونرى في الجدول رقم 6- 14 الضبط اللازم مع التشبع الزائد تبعا لتغير قيمة النسبة (معوقة المحول / (معوقة المنبع + معوقة الخط)) بين 0.25 و 8 حيث قيمة الضبط Ix هي 1.2 × (1+ التشبع للحالات الفجائية بالوحدة Transient Over Reach) تيار القصر عند F2.

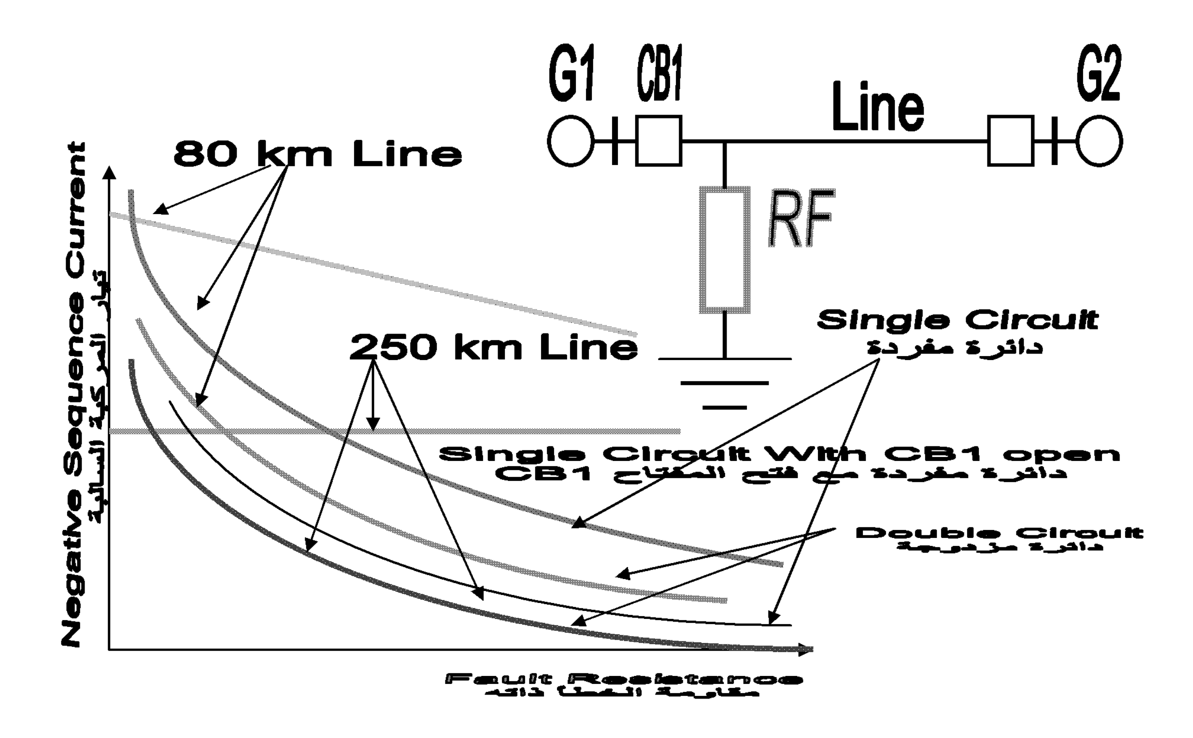


الشكل رقم 6-21 : محول ومغذي مع الضبط للحالات الانتقالية

جدول 6-14: نسبة ضبط المتممات (Is/IF1) مع الاعتبارات الفجائية في التشبع الزائد %

100	50	25	5	تشبع الفجائية (%)
1.92	1.44	1.2	1.01	0.25
1.6	1.2	1	0.84	0.5
1.2	0.9	0.75	0.63	1
0.8	0.6	0.5	0.42	2
0.48	0.36	0.3	0.25	4
0.27	0.2	0.17	0.14	8

يمكن ربط وقاية التيار كقيمة الترتيب السالب مع قيمة مقاومة القصر بشكل الإطار المبين في الشكل رقم 6-22 حيث يربط الخط بين مولدين وتتغير هذه المقاومة التي تمثل مدى شدة الاتصال مع نقطة القصر.



الشكل رقم 6- 22 : تأثير مقاومة القصر علي مركبة الترتيب السالب

مثال 6- 4:

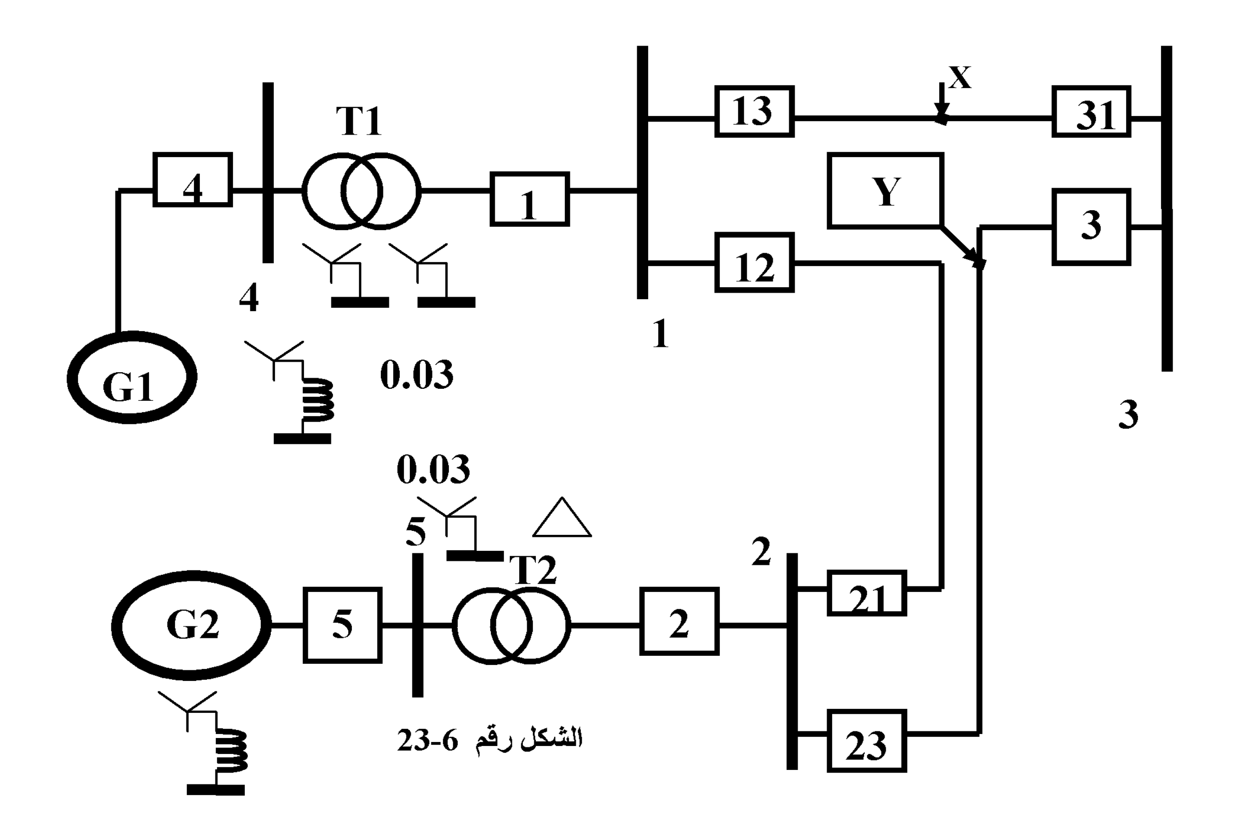
في الشكل رقم 6 - 23 والخاص بشبكة كهربائية حيث أن الخطوط الثلاثة متماثلة (230 kV Base , 100 MVA , Base , $Z_{p.u} = j\ 0.1$) مع إعتبار أنه يتم التحكم في الستة قواطع بالشبكة بواسطة وقاية المسافة المرحلية مع استخدام متمم الإتجاه كما هو واضح في دائرة الوقاية بالشكل رقم 6- 24 تم تركيب مرحلات المسافة بمراحل ثلاث موزعة بحيث المرحلة الأولي تغطي 80 % من طول الخط والمرحلة الثانية تغطي 120 % أما المرحلة الثالثة والأخيرة فتعمل علي نطاق 250 % من طول الخط المركب عليه المتمم.

إذا ما حدث قصر ثلاثي متماثل إوجد:

أ) قيمة ضبط Z_r لكل متممات المسافة بنظام الوحدة

ب) إذا كانت محولات الجهد بمقنن 133 ك. ف. / 115 ف. ومحولات التيار بمقنن 400 / 5 أ مطلوب قيمة هذا الضبط بقيمة الأوم

ج) التعقيب مع المناقشة لتشغيل المتمم إذا ما حدث قصر عند النقطة x حيث أنها تبعد 10 % بعد TL31 من القضبان رقم 3



الشكل رقم 6-23

الحل:

نبدأ بفرض القيمة الأساسية للحسابات بنظام الوحدة وبالتالي نضع الدائرة المكافئة للمركبات التيارية (الشكل 6-25):
100 MVA Base & 230 kV Base

وذلك بناء علي الرسم الخطي لدائرة الوقاية علي النحو المبين في الشكل 6-23 حيث نجد معني الرموز محددا في الجدول رقم 6- 15.

الجدول رقم 6- 15: رموز الوقاية المستخدمة

الرمز	المعني	الرمز	المعني
Z1	مرحلة أولي للمتمم	T2	متمم زمني للمرحلة الثانية
Z2	مرحلة ثانية للمتمم	T3	متمم زمني للمرحلة الثالثة
Z3	مرحلة ثالثة للمتمم	B	إلي المتمم الرئيسي Master Relay
D	متمم إتجاه	S	متمم التأكد Seal in Relay

معوقة المرحلة الأولي Z1 تمثل 80 % من طول الخط الكلي أي = $0.1 \times 0.80 = 0.08$

معوقة المرحلة الثانية Z2 تمثل 120 % من الطول الكلي للخط ومن ثم تساوي 0.1 × 1.20 = 0.12

معوقة المرحلة الثالثة Z3 تمثل 250 % من الطول الكلي للخط ومن ثم تساوي 0.1 × 2.50 = 0.25

نظرا للتماثل الواضح بين كل المتممات الستة سيكون الضبط واحدا للجميع متماثلا أيضا ثم:

الجهد الأساسي Phase Voltage Base لقيمة الجهد مع نقطة التعادل هي = 230 / 3 √ = 133 ك. ف.

التيار الأساسي Phase current Base المتواكب معه = 100 / (0.23 × 3 √) = 25 أ

الجهد الثانوي Secondary Voltage Base لمحول الجهد (الأساسي) = 133 (115 / 133) = 115 ف.

التيار الأساسي للدائرة الثانوية Secondary current Base يصبح = 251 × (5 / 400) = 3.14 أ

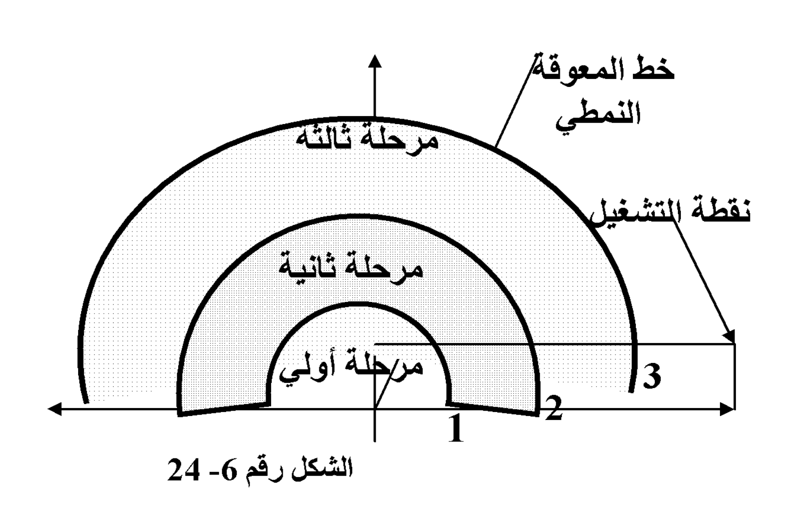
المعوقة الأساسية للثانوي Secondary impedance Base = 115 / 3.14 = 36.7 أوم

بالتالي تكون المعوقة للمراحل الثلاثة 3 Zones لتشغيل متمم المسافة علي النحو:

معوقة تشغيل المرحلة الأولي Z1r = 0.08 × (36.7) = 2.93 أوم

معوقة تشغيل المرحلة الثانية Z2r = 0.12 × (36.7) = 4.4 أوم

معوقة تشغيل المرحلة الثالثة Z3r = 0.25 × (36.7) = 9.16 أوم



الشكل رقم 6- 24

التعليق والمناقشة:

القاطع رقم B13 والقاطع رقم B31 يفصلان القصر كما يجب إضافة إلي القاطعين B1& B4 حيث يجب أن يكون لهما تنسيق مع القاطع B13 كي يتم ترتيب الفصل بينهم حتي يكون بالترتيب الصحيح وهو B13 ثم B1 ثم B4 مع الأسرع إلي الأبطأ وبالمثل نجد أن القواطع B13 و B31 وB23 يفصلون قبل القاطعين رقم B2 & B5 للقصر short circuit المحسوب نجد الآتي:

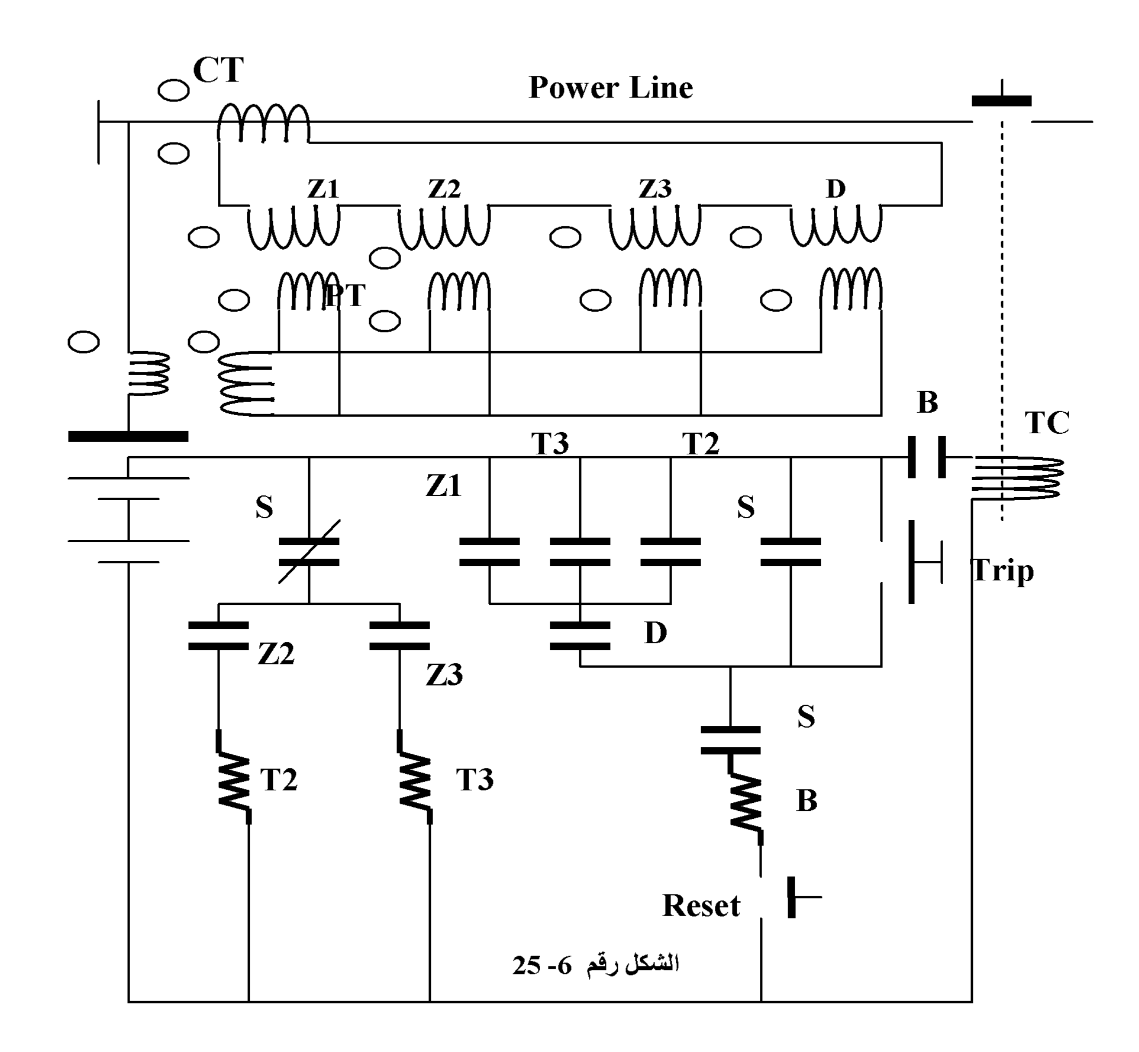
القاطع B31 يقع في المرحلة الأولي وبالتالي يعمل فورا حال القصر في المرحلة الأولي

القاطع B32 له وحدة إتجاه وبالتالي يتوقف عن العمل

يفصل أولا B31 وتؤخر الفصل إذا كان القصر في المرحلة الثانية B23 حتي يمنع القاطع رقم B23 من الفصل

بالنسبة للقاطع B21 فان القصر خفيف وهو واقع في المرحلة الثالثة وقد لا يحس به المتمم وحتي إتجاه توقف الفصل للقاطع B12 لأنه في المرحلة الثانية.

القاطع B13 يؤخر الفصل له إذا كان القصر في المرحلة الثانية (خارج المنطقة مباشرة)



الشكل رقم 6- 25

مثال 6- 4:

في الشكل رقم 6 - 25 والممثل لشبكة كهربائية حيث تم تركيب مرحلات المسافة في الحالتين علي الأطوار الثلاثة وبوضع متمم الأرضي عند القضبان Bus رقم 1 (نهاية الخط TL13)، المطلوب:

أ) إيجاد المعوقات التي يراها المتمم لأنواع القصر الأربعة إذا حدث قصر علي القضبان رقم 3

ب) حساب قيمة ضبط معوقة المتمم علي الوجه وعلي الأرضي للوصول بقيمة 100 %

ج) التعقيب علي مدي حساسية المتمم للأنواع المختلفة من القصر.

الحل:

النتائج قد سجلت في الجدول رقم 6-16.

الجدول رقم 6-16: نتائج القصر (الجهد والتيار) علي القضبان رقم 3 لجميع أنولع الخطأ عند القضبان رقم 1 (TL13)

القيمة	التيار						الجهد					
sequence	0		1		2		0		1		2	
المحسوب	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية
3	0	0	2.86	-90	0	0	0	0	0.286	0	0	0
L – E	0.81	-90	0.91		0.91	-90	0.12	180	0.77		0.23	180
2L-E	0.78	90	1.87		0.99	90	0.11	0	0.53		0.25	0
L-L	0	0	1.43		1.43	90	0	0	0.64		0.36	0
Y	A		B		C		A		B		C	
	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية
3	2.86	-90	2.86	150	2.86	30	0.29	0	0.29	-120	0.29	120
L – E	2.63		0.1	90	0.1	90	0.426		0.95	246	0.95	114
2L-E	0.1		2.76	154	2.76	26	0.89		0.37	220	0.37	140
L-L	0	0	2.48	180	2.48	0	1		0.56	206	0.56	154
DELTA	AB		BC		CA		AB		BC		CA	
	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية	قيمة	زاوية
3	2.96	-60	2.86	180	2.86	60	0.29	30	0.29	-90	0.29	150
L – E	1.58	-90	0		1.58	-90	0.69	47	1		0.69	133
2L-E	1.62	-28	2.86		1.62	28	0.69	12	0.28		0.69	168
L-L	1.43	0	2.86		1.43	0	0.88	9	0.28		0.88	171

6-4: المحركات الكهربائية Electric Motors

تظهر أهمية شديدة لدوائر المحركات لأنها تختلف عن دوائر الإضاءة أو التطبيقات الأخرى وهي تحتاج إلي عناية خاصة كي نصل إلي أقصى درجات الأمان وأعلي اعتمادية مع أقل حيود في هبوط الجهد علي المغذيات أو المحركات وبأقل فقد حراري ممكن وبأقل تكلفة تركيب مع البساطة والسهولة في التشغيل والصيانة والسماحية بالتطوير والامتداد مستقبلا. تستعرض هنا المحركات في الشبكات الكهربائية للعديد من الأعطال ووسائل الوقاية اللازمة وهي ما يمكن إيجازها علي النحو القادم.

1- أعطال خارجية External Faults

الأعطال الخارجية تتمثل في بعض العيوب أثناء تشغيل الشبكة الكهربائية ومنها:

أ) تشغيل علي وجه واحد أو وجهين Single Phasing
ب) عدم اتزان الجهد Unbalanced System
ج) هبوط الجهد Under Voltage

د) عكس أحد الأوجه في البدء Reverse Phase
هـ) قطع أحد الموصلات Open Phase
و) فقد التزامن Loss of Synchronism

هذه الحالات جميعا تعتبر من العوامل ذات الخطورة علي تشغيل المحرك بل وقد تصل به إلي التدمير.

2- أعطال داخلية Internal Defects

إن الأعطال كثيرة في المحركات ويمكن أن نختصر أهمها في العيوب الميكانيكية Mechanical مثل نسبة السماح في الكراسي bearing أو رولمان البلي أو عيوب تصنيع manufacture مثل مستوى العزل للملفات insulation سواء مع العضو الدوار أو الثابت أو عيوب استعمال Bad Use مثل تجاوز الحمل Over Load أو عيوب صيانة maintenance كاتصال أحد أطراف الملفات مع الأرض. لذا يلزم حماية المحركات عن طريق دوائر الوقاية والتي تعتمد علي البيانات الأساسية للمحرك.

3- البيانات الأساسية للمحركات Basic Data

تنحصر هذ البيانات في عدد من المقننات والخصائص وهي:
أ- تيارات البدء starting currents ومدتها وهي التي تقترب من ستة أمثال التيار المقنن ولمدة 5 ثواني
ب- نوعية المحرك عما إذا كان قفص سنجابي أو تأثيري أو تزامني
ج- طريقة البدء starting concept ونوعية أجهزة البدء – كما نقدمها بتفصيل تبعا للمواصفات القياسية الدولية من خلال هذا الكتيب.
د- طريقة إيقاف المحرك stopping method
هـ- خصائص السرعة وأسلوب التحكم فيها speed control و أجهزة التحكم
و- نوع الأحمال المحتملة أثناء التشغيل
7- المقننات الأساسية وهي الجهد والتيار والقدرة

4- وسائل الوقاية Protection Concepts

أما عن وسائل الوقاية للمحركات فإنها تنقسم إلي نوعين:

النوع الأول: هو المستخدم في دوائر المحركات البسيطة صغيرة الحجم (حتى 150 حصان) وهي عادة تعتمد علي المصهر عالي القدرة HRC وهو الملائم للمحركات حتى 1 ك. ف.، كما أن اختيار هذا المصهر يعتمد علي مقنن المحرك وله جداول متداولة تبعا للمواصفات القياسية وهي كلها مؤسسة علي 6 أمثال التيار المقنن ولمدة 5 ثواني، كما يضاف عادة وسيلة وقاية لتجاوز الحمل وهي الوسيلة الحرارية، أما بالنسبة للجهد 6.6 ك. ف. فيضاف الفصل عند زيادة التيار.
النوع الثاني: يختص هذا النوع بالمحركات الكبيرة والصغير منها نسبيا وللجهد 6.6 ك. ف. أو أكثر تعتمد علي القاطع الكهربائي والذي عادة ما يكون هوائيا أو زيتيا كما نحتاج إلي الوقاية التفاضلية أم الأحجام الأكبر فهي ما يجب أن تعتمد علي قاطع التيار وملحقاته من منظومة الوقاية التي تشتمل ، بجانب تلك المعتادة لوقاية المحركات الصغيرة، مثل:

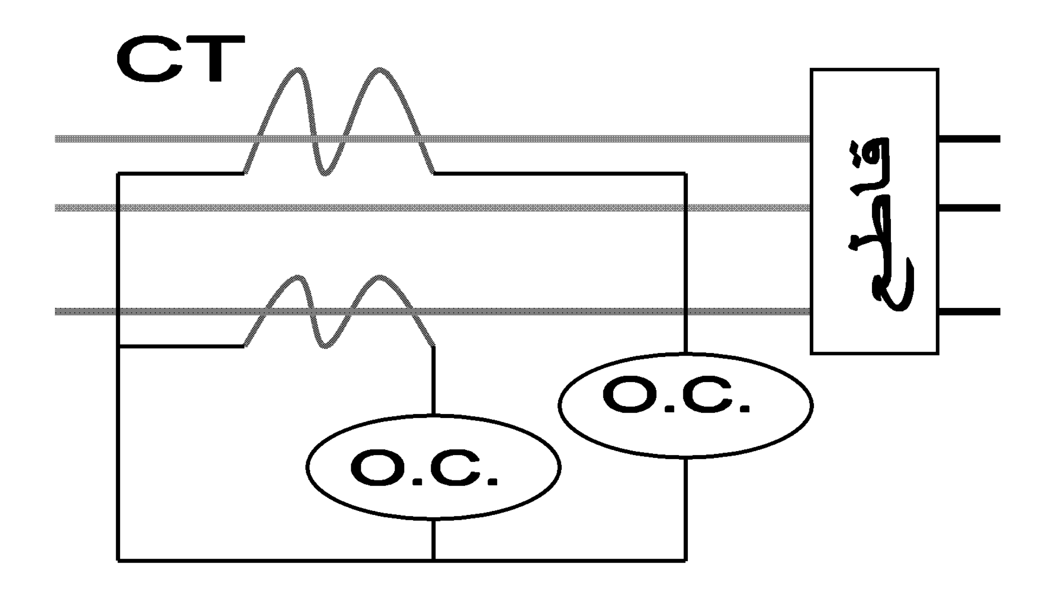
أ) وقاية هبوط الجهد (إنخفاض الجهد) Under Voltage

ب) وقاية زيادة التيار (تيار القصر) Over Current

ج) وقاية فقدان الجهد Voltage Lost

د) وقاية تجاوز الحمل Over Load

هـ) وقاية ضد عكس إتجاه الحركة Phase Sequence Condition



الشكل رقم 6-26 : وقاية زيادة التيار للمحرك

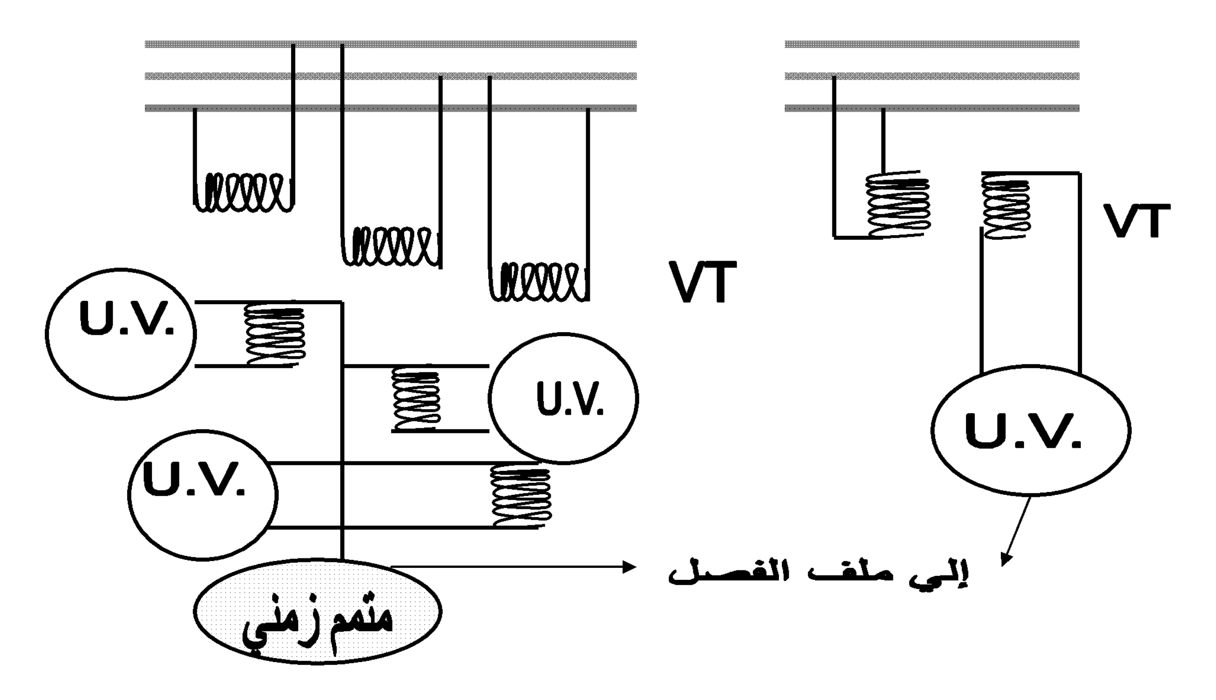
و) وقاية ضد سقوط أحد الأطوار المغذية للجهد Double Phase Operation

أن وقاية زيادة التيار تتم بناء علي قياس التيار في وجهين كما في الشكل رقم 6-26 ويمكن استغلال تواجد دائرة وقاية ليضاف إليها وقاية الفرق بين التيارين (التيار الأرضي إلي حد ما)، وتصبح دائرة وقاية مزدوجة الهدف وهذه الدائرة من الممكن أن تعمل علي التيار المستمر أو التيار المتردد (نفس المصدر) وبنفس الأسلوب يوضع محول الجهد بين وجهين فقط ليعطي وقاية هبوط الجهد كما يمكن استخدامه علي الثلاث أوجه وكلاهما يعمل بكفاءة ولكن ثلاثي المتممات يكون أفضل في المحركات الهامة (الشكل رقم 6-27).

أسباب عدم اتزان الجهد وهو أكثر الأخطاء شيوعا هي:

أ) تحميل غير متماثل علي أطوار المحول المغذي للمحرك.
ب) أحد الأطوار مقطوع.
ج) مغير (منظم) الجهد علي أوجه المحول غير متماثلة.
د) معوقة أحد ملفات الأطوار في المحول المغذي غير متماثلة مع الآخرين وتكون عادة في حدود 1.6 – 6 % من المعوقة الكلية.
هـ) مكثفات بدء الحركة غير متماثلة.
و) منظم الجهد لا يعمل.
ع) خطأ في معايرة مغير الجهد.

ي) منظم الجهد بالمحول ضعيف.

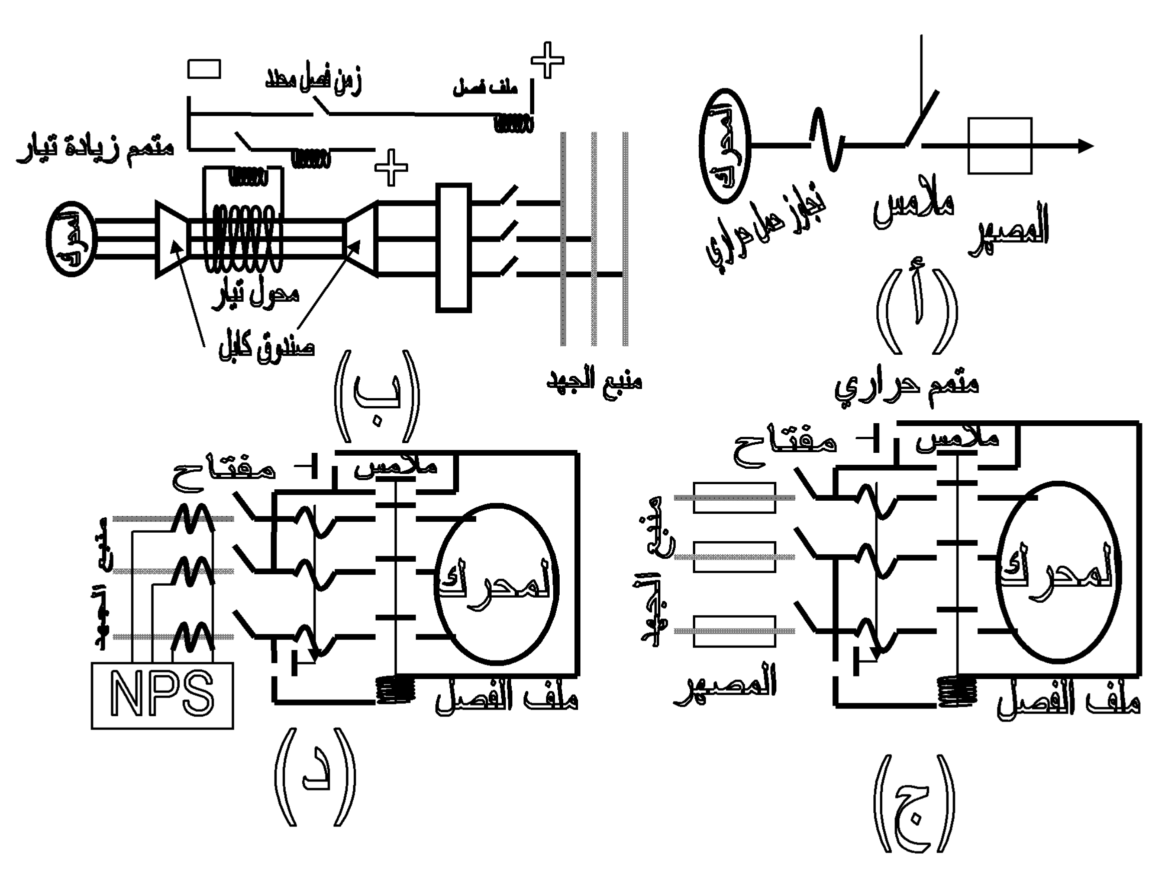


الشكل رقم 6-27 : وقاية هبوط الجهد للمحرك

دوائر التشغيل والوقاية للمحركات أبسط من غيرها وهي مدرجة في الشكل رقم 6-28 حيث نري أربعة حالات ففي المحركات الصغيرة نري في الشكل (أ) أن تجاوز الحمل الحراري بجانب المصهر أساسيا خصوصا وأن الزيادة المستمرة في الحرارة تؤثر سلبا علي مستوى عزل الملفات ومع الزمن من الناحية الأخرى مما يستوجب العناية بمبدأ الوقاية الحرارية مع المحركات، بينما في الشكل (ب) نجد أن محولات التيار المحورية قد تستخدم للحفاظ علي تماثل الأوجه ولالتقاط أي قصر إلي الأرض مع استخدام متمم زمني محدد بوقت الفصل كحماية عند تواجد القصر مع الأرض.

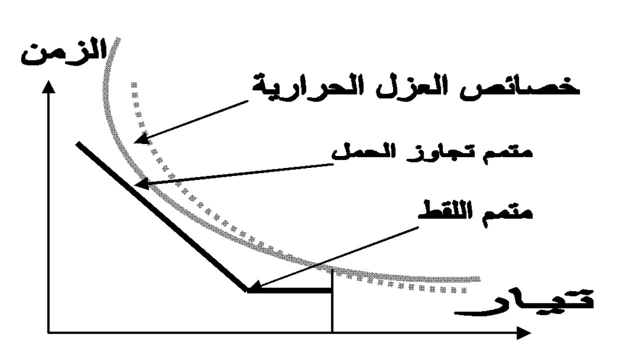
جدير بالذكر أنه من حيث المبدأ لا يوصى بتأريض نقطة التعادل في المحركات تقليلا للمخاطر الناجمة عن زيادة مستوى القصر ويكون هاما متمم الوقاية من التيار الأرضي إذا كان تيار الأرض أكبر من 5 - 10 أ في الدوائر الكهربائية الصغيرة، أما الشكل (ج) فيعطي دائرة التحكم في تشغيل وفصل المحرك الكهربائي حيث يحصل ملف الفصل علي الجهد من المنبع وبالتالي يعطي الفصل المباشر بينما يستخدم كلا من الوقاية الحرارية لتجاوز الحمل بجانب زيادة التيار التي يغطيها المصهر لما له من مزايا عند التعامل مع دوائر المحركات. أخيرا مع الارتفاع بقدرة المحركات نحتاج إلي وقاية زيادة التيار بالزمن (شكل د) ليستعان بوقاية زيادة التيار بدلا من المصهر. ولذلك نجد المحركات في محطات الكهرباء تحتاج إلي منظومة معقدة تشمل دوائر الوقاية من القصر مع الأرض وهبوط الجهد وعدم الاتزان كما قد يستخدم أحيانا الوقاية التفاضلية لحماية المحركات من القصر بين لفات الملف وكذلك يمنع إعادة بدء تشغيل المحرك آليا بعد فصله وإن كان لازما فيجب التعامل مع متمم هبوط الجهد.

أن وقاية تجاوز الحمل تغطي بعضا من الأخطاء مثل:



الشكل رقم 6-28: دوائر وقاية المحركات المختلفة

أ) هبوط الجهد.
ب) التوصيل علي طورين single phasing حيث تصدر القدرة المطلوبة من وجهين فقط فتزيد من الحرارة مع ظهور الترتيب السالب.
ج) عدم بدء حركة الجزء الدوار stalling
د) البدء فوق المقنن heavy starting.
هـ) استمرارية الحمل العالي.
و) الفرملة كما يجب أن خصائص الفصل التلقائي عن الخصائص الحرارية لعزل المحرك (الشكل رقم 6- 29).
يتأكد من الرسم الخصائص الحرارية للمحرك أعلي من متمم تجاوز الحمل أو بصفاته الأبعد عن هذه الخصائص وخصوصا مع المحركات الكهربائية الكبيرة مثل ذلك المحدد بمتمم



الشكل رقم 6- 29 : الفصل التلقائي في المحركات

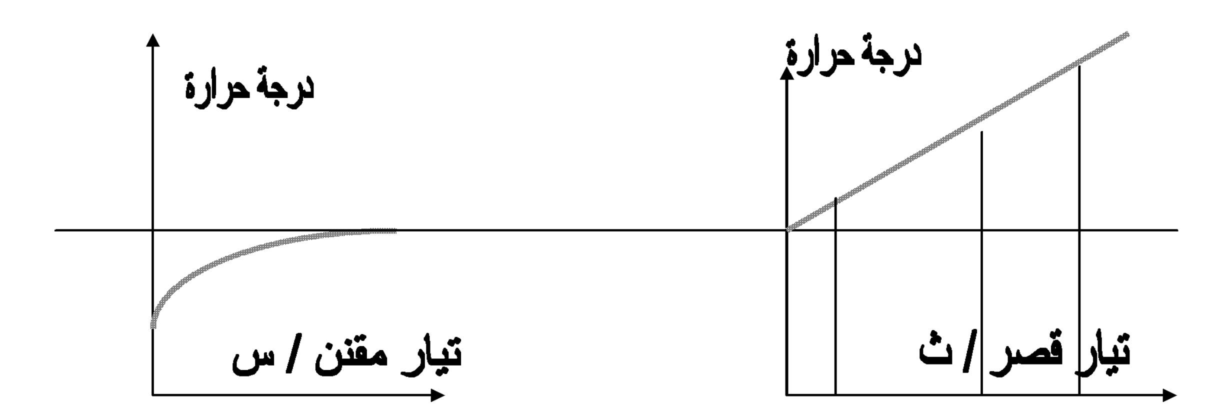
اللقط pick up relay ويصلح مع كود التركيبات بالمناطق الخطرة حيث قابلية الانفجار أو الاشتعال.

تظهر الوقاية الحرارية مع عطب أحد أجزاء التبريد أو مع ارتفاع درجة حرارة الوسط الخارجي المحيط أو بزيادة التحميل علي المحرك ،ويجب ضرورة الالتزام بمناطق التشغيل ومستوى خطورتها من حيث الانفجار أو القابلية للاشتعال ويحدد الجدول رقم 6- 17 مستويات العزل الكهربائي تبعا للمواصفات وفيها أربعة مستويات.

الجدول رقم 6- 17: درجة الحرارة القصوى لمستويات العزل الحراري للملفات (%)

مستوى العزل	E	B	F	H
تواجد حراري مستمر	115	120	145	165
حرارة مستمرة	105	110	130	155
عند نهاية زمن الارتفاع الحراري	175	185	210	235

يأخذ الجدول رقم 6- 18 يأخذ مستوي العزل رقم F مثلا ويحدد داخله مستويات الحرارة حيث نجد تجاوز الحمل يعتمد علي البقع الحرارية (مصدر الحرارة) داخليا أو خارجيا مما يستلزم تواجد كاشف حراري ولا يسمح بأي زيادة حرارية أو استمرارها وهنا نجد النزول بعدد 10 درجات كلفن عن حدود الحرارة القصوى في التصميم للمناطق العادية يزيد من عمر الملفات وبالتالي المحرك إلي الضعف تقريبا مقابل بعضا من التكلفة وزيادة الحجم. كما يضع الشكل رقم 6- 30 الصفات الحرارية المصاحبة لمثل هذه التركيبات الخاصة بمناطق الخطورة ولذلك يتم اختيار المحركات لتغطية أفضل أداء دون أدنى خطورة ونري في الشكل رقم 6- 31 خواص أداء متمم بزمن الفصل المحدد وهو الملائم لمثل هذه الحالات.

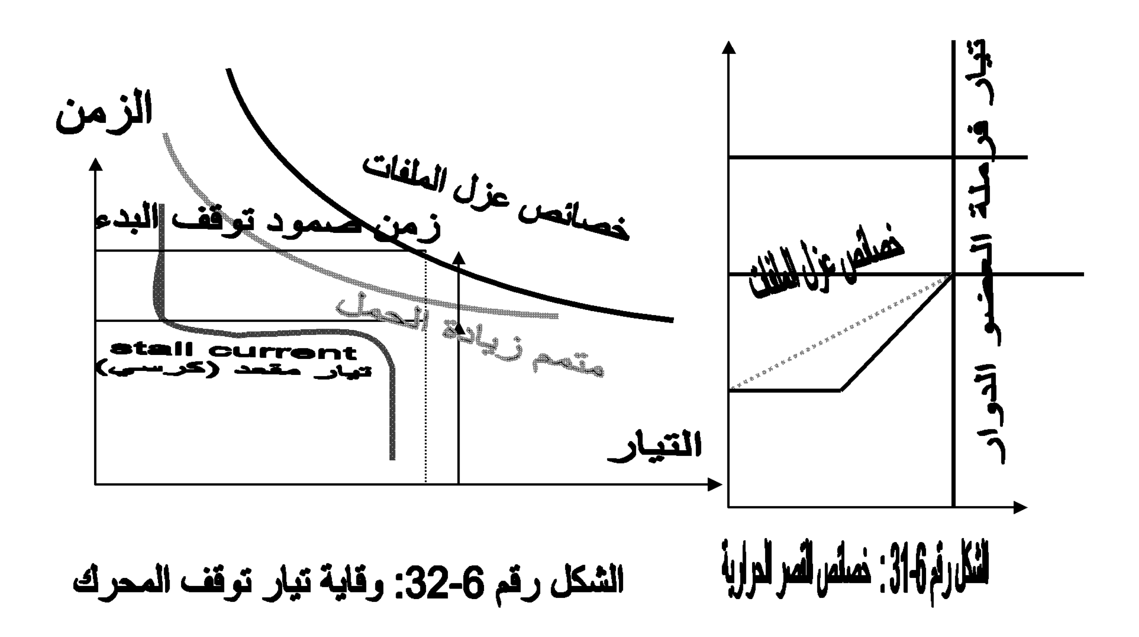


الشكل رقم 6-30 : خصائص المحرك الحرارية

الجدول رقم 6- 18: حدود مستويات الحرارة في مستوى العزل F

مستوى الحرارة	شرط	T1	T2	T3	T4	T5	T6
حرارة الاشتعال	<	450	300	200	135	100	85
أقصى حرارة بالسطح	>	450	300	200	135	100	85
ملفات بحرارة مستمرة	>	145	145	145	145		
ملفات بنهاية حرارية t_E	>	210	210	190	130	95	80

قد نجد الخصائص الحرارية لعزل ملفات المحرك هي التي تتفوق علي خصائص الفصل التلقائي ومن ثم يلزم عند اختيار ضبط متمم لمحرك أو المصهر اللازم لوقايته فيجب أن تكون صفاته الحرارية تحت المنحنى الحراري للملفات (الشكل رقم 6-31).



الشكل رقم 6-32: وقاية تيار توقف المحرك

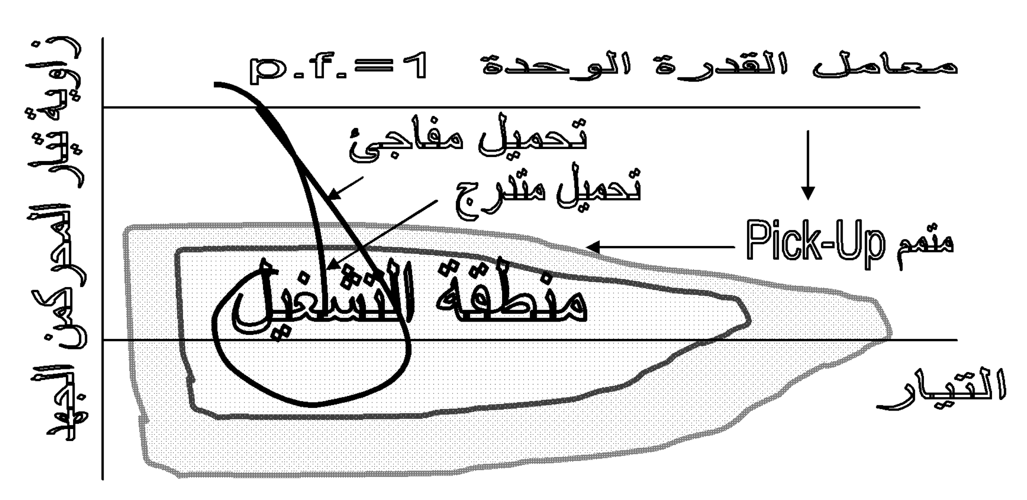
الشكل رقم 6-31: خصائص القصر الحرارية

نظرا لأهمية البادئ في خصائص وقاية المحركات نقدم في الجدول رقم 6-19 بيانات الوقاية تبعا للمواصفات القياسية حيث نري في الشكل رقم 6-32 خصائص المتمم الذي يمكن أن يعمل حماية المحرك من قيمة ارتفاع التيار عند توقف المحرك عن البدء stalling بحيث يمكن لحماية زيادة الحمل وقاية المحرك منه إذا ما زاد عن التيار المسبب للزيادة الحرارية وهو إما أن يقع فوق منحنى الحمل الزائد فيعمل المتمم أو تحته فلا يعمل لأنه دون القيمة الخطرة، وفي الجدول رقم 6-20 نجد المواصفات المرادفة للاستعانة بسكينة نجمة / دلتا في البدء.

الجدول رقم 6-19 : مواصفات البدء المباشر للمحركات 400 ف ، 50 هيرتز ، 3 أطوار

قدرة (ك. و)	تيار مقنن (أ)	مدى المتمم (أ)	أقصى/أدني مقنن للمصهر (أ)
7.5	13.6	20-13	25/50
9.4	17	20-13	25/50
11	20	30-20	35/80
15	28	30-20	60/80
18	35	45-30	60/100
22	40	45-30	60/100
26	47	63-45	80/125
30	55	63-45	80/125

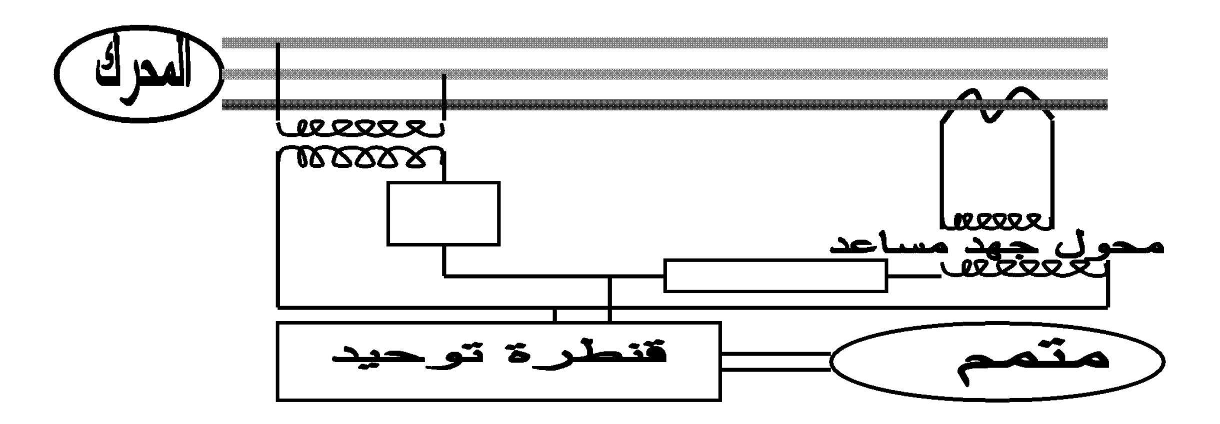
بالنسبة للمحركات المتزامنة نجد أن الوقاية لابد وأن تشمل أيضا إضافة إلي ما سبق وقايتي التزامن وملفات المجال، أما عن الملفات فيجب وقايتها ضد الزيادة الحرارية **thermal** والتي تتسبب في تغيير السرعة نتيجة الانزلاق **slip** في السرعة فيظهر في صورة حرارية نتيجة تجاوز الحمل للتيار في الملفات وهو ما يؤكد وجود عيب في دائرة التحكم الخاصة بالمحرك **control circuit** أما عن وقاية التزامن فهي تتم من خلال التعرف علي خواص **out of step** متمم الخروج عن التشغيل المستقر في الشبكة الكهربائية (الشكل رقم 6- 33) ونري دائرة متمم فقد التزامن **loss of synchronism** في الشكل رقم 6- 34، كما يمكن إضافة هبوط الذبذبة أيضا.



الشكل رقم 6- 33 : خصائص متمم فقد التزامن

الجدول رقم 6- 20: مواصفات بدء نجمة / دلتا للمحركات 400 ف، 50 هيرتز، 3 أطوار

قدرة (ك. و.)	تيار مقنن (أ)	مدى المتمم (أ)	أقصى / أدني مقنن للمصهر (أ)
15	28	20-13	60/60
18	35	20-13	60/100
22	40	30-20	60/100
26	47	30-20	80/100
30	55	45-30	80/125
37.5	66	45-30	100/125
44	80	63-45	100/160
55	95	63-45	125/160



الشكل رقم 6-34: دائرة متمم فقد التزامن

5-6: وقاية القضبان Bus Zone Protection

تقوم القضبان بعمل جوهري كنقطة اتصال بين الجهات المختلفة داخل وخارج المحطة سواء كانت محطة توليد أو محولات وأي خطأ فيها يكلف الشبكة عبئا فوق الطاقة كي تحافظ علي اتزانها واستمرار تغذية الأحمال وغالبا ما تكون هناك مشاكل جانبية وتخص منظومة الوقاية وقد تتسبب في انهيار التغذية لمحولات التيار والجهد والدوائر الثانوية ككل وهذه القضبان تتعرض دائما للعديد من الأعطال نتيجة لأخطاء التشغيل أو غيرها كما هي مجدولة إحصائيا في الجدول رقم 6- 21 ولهذا تتطلب الوقاية:

أولا: السرعة Tripping Speed

سرعة الفصل عند حدوث أخطاء بالشبكةالكهربائية لتقليل مستوي الدمار في الشبكة الكهربائية وكذلك الاعتماد علي الوقاية الاحتياطية للإبقاء علي استمرارية التغذية لباقي أجزاء الشبكة.

ثانيا: الاتزان Stability

يتم من خلال دقة أداء منظومة الوقاية خصوصا لمصاحبتها الظواهر التالية:

1- فصل كل الدوائر الثانوية لمحولات التيار interruption of secondary circuits وهو ما يسبب عدم تماثل المنظومة بالشبكة وبهذا تفصل الأحمال تباعا بناء علي قيمة الضبط في المتممات وخصائص دوائر الوقاية بها.

2- ظهور الصدمات والاهتزازات الميكانيكية mechanical vibration & shocks والتي من المحتمل أن تتسبب في تشغيل أي من المتممات علي سبيل الخطأ.

3- إمكانية تواجد أخطاء تشغيل نتيجة لأعمال الصيانة.
من هذا نجد ضرورة وضع القضبان كمنطقة كما في الشكل السابق في منظومة وقاية متكاملة تشتمل علي:

الدائرة الأولى: فرملة الاتجاه Direction Break

وهي ضرورية حتى لا يتم الفصل مع تلك الأخطاء التي لا تخص منطقة القضبان بل وتعطي الفرصة لغيرها من المتممات كي تعمل بأسلوب التأخير الزمني الهام في هذه الحالات

الجدول رقم 6-21: إحصائية عن نسبة الأخطاء علي القضبان

سبب الخطأ	L-E	2L-E	3L-E	3L	غير معروف	إجمالي	(%)
شرارة	20	6	1			27	21
عيب في القاطع	16	2	2			20	15.5
فقد عزل القضبان	19	2			1	22	17
فقد عزل غير القضبان	4	1	1	3		9	7
انهيار في CT	3					3	2.3
تشغيل سكينة خطأ	8	1	5	1		15	11.6
ترك التأريض بعد عمل ما	6	1	8			15	11.6
حاثة تلامس	5		2			7	5.4
وقوع حطام	4	1		1		6	4.7
غير محددة	2	1		1	1	5	3.9
مجموع كل نوعية	87	15	19	6	2	129	
النسبة المئوية (%)	67.4	11.6	14.7	4.7	1.6		100

الدائرة الثانية: مقارنة الأوجه Phase Comparison

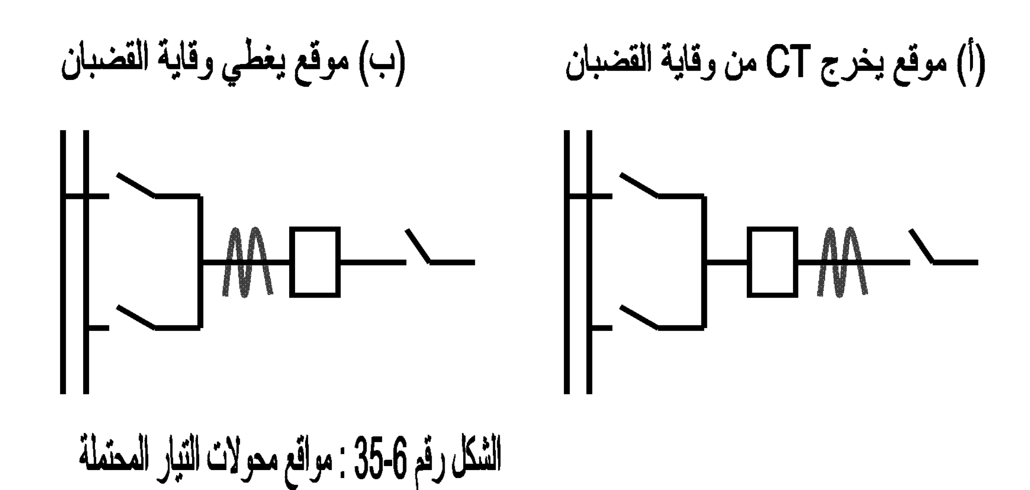
وهي وقاية هامة حتى لا نفقد الترتيب اللازم في تشغيل الشبكة الكهربائية

الدائرة الثالثة: الوقاية التفاضلية Differential Protection

قد سبق الحديث عنها

الدائرة الرابعة: الوقاية الاحتياطية Back Up

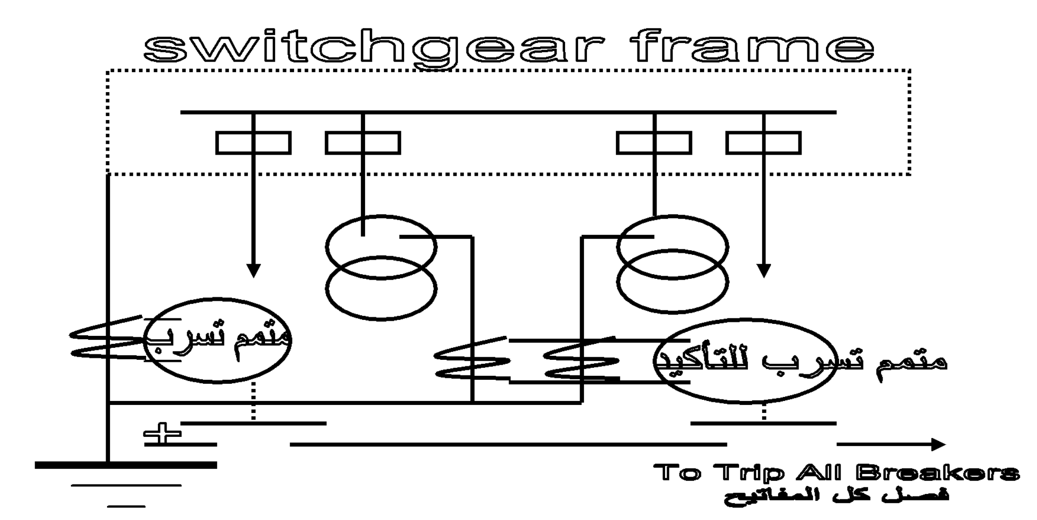
الوقاية الإحتياطية هامة لتغطية القضبان من خلال وقاية الزيادة في التيار وفيها تدخل القضبان في الحسبان حسب التوصيل وكذلك وقاية المسافة وفيها دائما تدخل القضبان كمرحلة ثانية كي لا يتم الفصل تكرارا وبدون داعي كما يعطي الشكل رقم 6-35 بيانا توضيحيا لأهمية وضع محولات التيار في شبكات التوزيع والمحورية عموما وهو المبين في الشكل (ب) حيث نجد في الشكل (أ) الوضع الخاطئ لهذه المحولات والذي يفقد القدرة علي حماية القضبان إذا ما تم الفصل لزيادة التيار علي أحد المغذيات.



الشكل رقم 6-35 : مواقع محولات التيار المحتملة

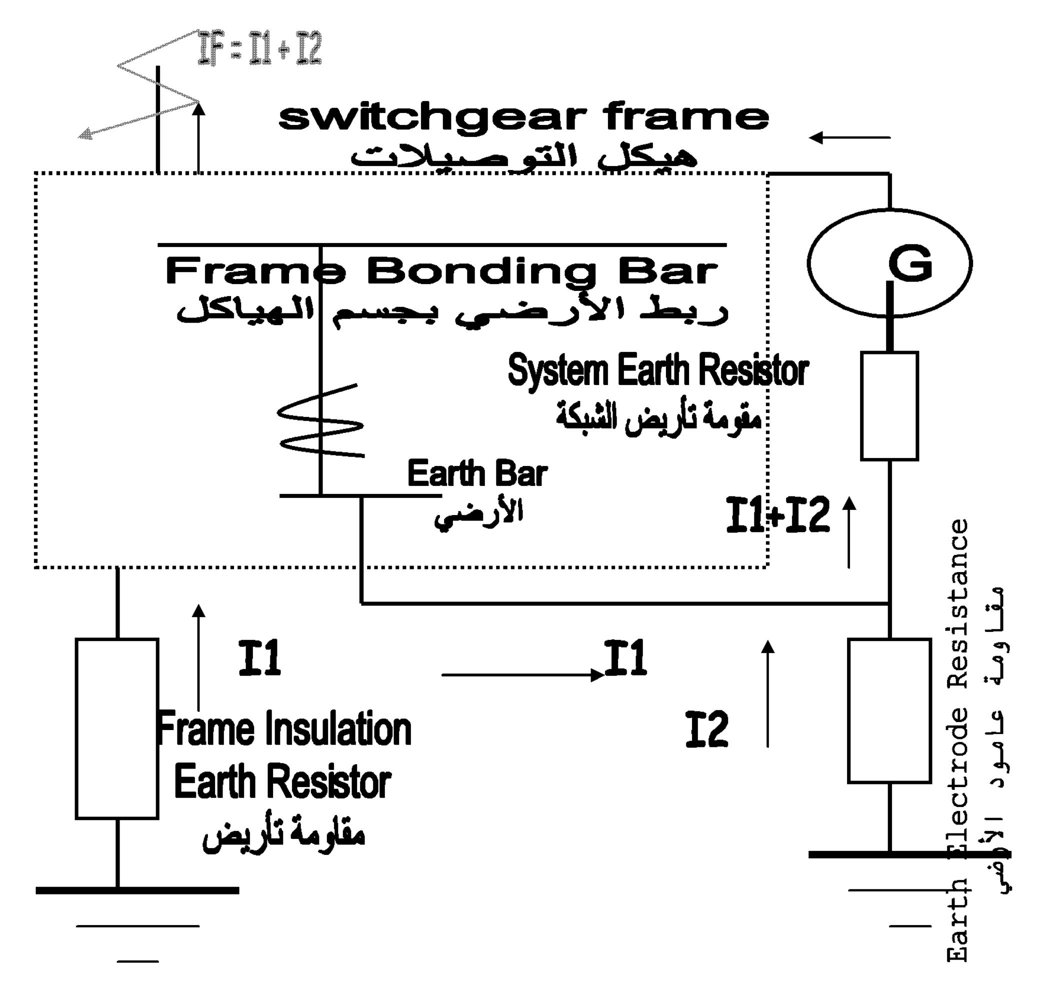
الدائرة الخامسة: منظومة وقاية التسرب الأرضي
Frame Leakage Current

هو ما يجعلنا أن نقوم علي تركيب محول تيار واحد علي الخط الواصل مع نقطة التأريض الصفرية حتى لا يتم تركيب محولات تيار علي كل جسم معدني وتكون النتيجة توصيلهم علي التوازي مما يقلل من كفاءة الأداء أو الحساسية الفعلية بها ولكن بأسلوب توحيد كل التسرب الأرضي في محول تيار واحد للمنطقة ككل (الشكل رقم 6- 36) يفيد أكثر ويكون أكثر دقة بجانب ألا تزيد مقاومة التأريض عن 10 أوم (الشكل رقم 6-37).



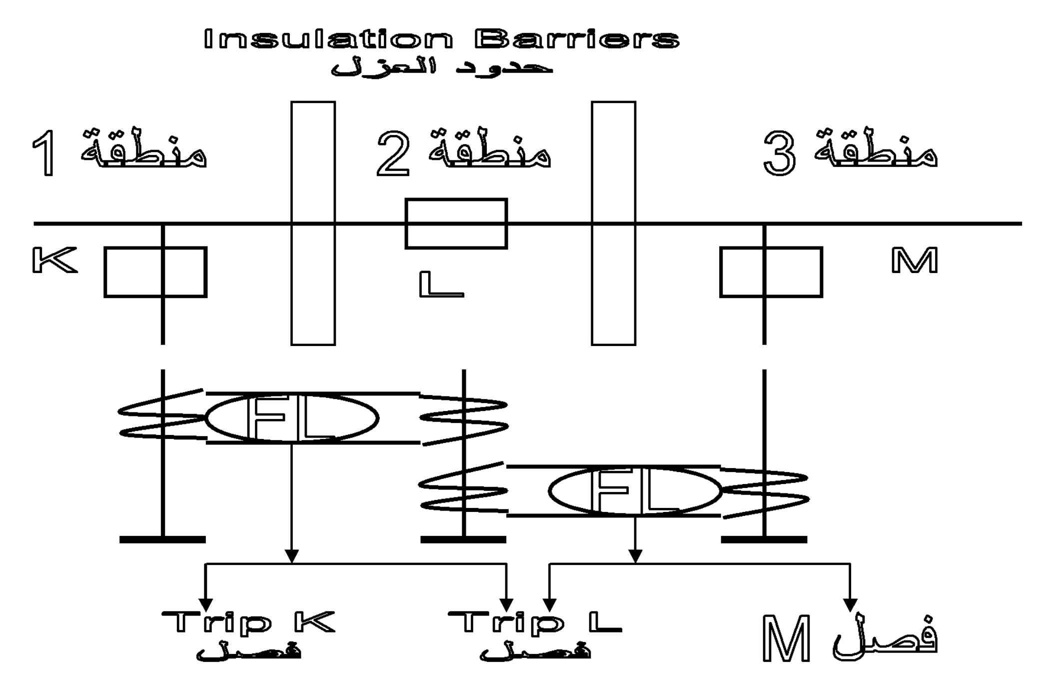
الشكل رقم 6-36 : دائرة وحيدة لتسرب التيار

في هذه الحالة ومن الشكل حيث نجد توضيحا لتوزيع التيارات في هذه الحالة، وقد ينقسم القضبان المفرد إلي أجزاء فيكون الخط العازل أو الفاصل مبينا في الشكل رقم 6-38 وقد تكون القضبان مزدوجة فتكون كما في الشكل رقم 6- 39.

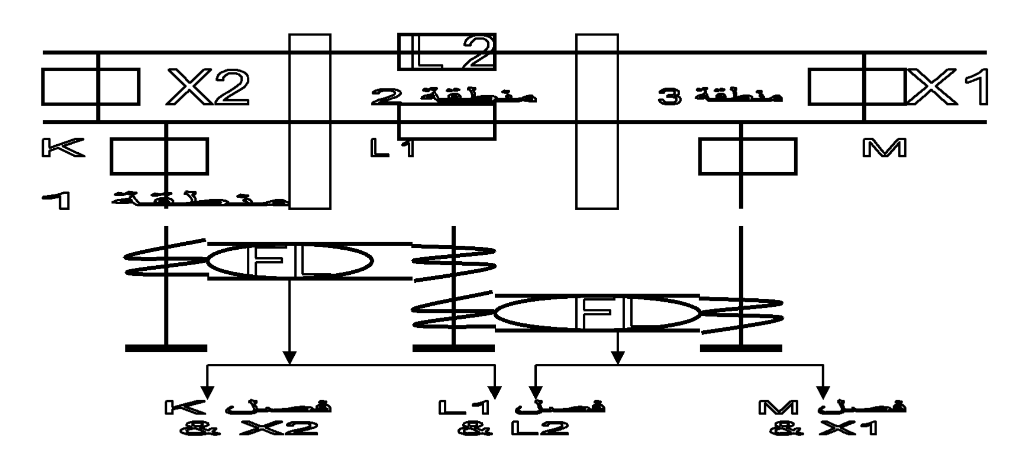


الشكل رقم 6-37: توزيع التيارات ومقاومة التأريض

هكذا نري من الرسم أن المناطق المتعددة تعطي فرصة أكبر لاستمرارية التيار وتغذية الأحمال كما يمكن وضع سبل التمييز بين القطاعات المختلفة علي القضبان وهو ما يتم تطبيقه بالفعل في الشبكات الكهربائية الموحدة.



الشكل رقم 6- 38 : نموذج قضبان مفرد بثلاث



الشكل رقم 6-39: أسلوب تأريض مع قضبان مزدوجة

الفصل السابع

شبكة الوقاية
PROTECTIVE GEAR

من منطلق غير تقليدي نتوجه هنا إلي مفهوم خاص وأعمق عن الوقاية في الشبكات الكهربائية فعادة في كل موقع سواء كانت محطة كهربائية أو مصنع أو أي مكان آخر لا بد وأن تتكامل كافة الدوائر الكهربائية داخل منظومة واحدة لكل من المعدات الكهربائية مثل المحولات أو المولدات أو المغذيات أو غيرهم وهو ما سبق إيضاحه عن منظومة الوقاية في الفصل السابق، ثم يأتي الدور بعد ذلك عن التكامل بين هذه المنظومات معا في شبكة وقاية موحدة في كل موقع وهذا هو دور الفصل الحالي من الكتيب كي تتفاعل جميع المنظومات معا وتكون الوقاية أقرب ما يكون من الكمال وهو هدف موضوع الوقاية في الشبكات الكهربائية وبهذا نحتاج إلي بعض الإضافات البسيطة بجانب ما سبق لنصل إلي مستوى الوعي المطلوب في شبكة الوقاية بالموقع وهو ما سوف نتناوله في السطور التالية.

1-7: الدوائر التكميلية في منظومة الوقاية
Complementary Circuits

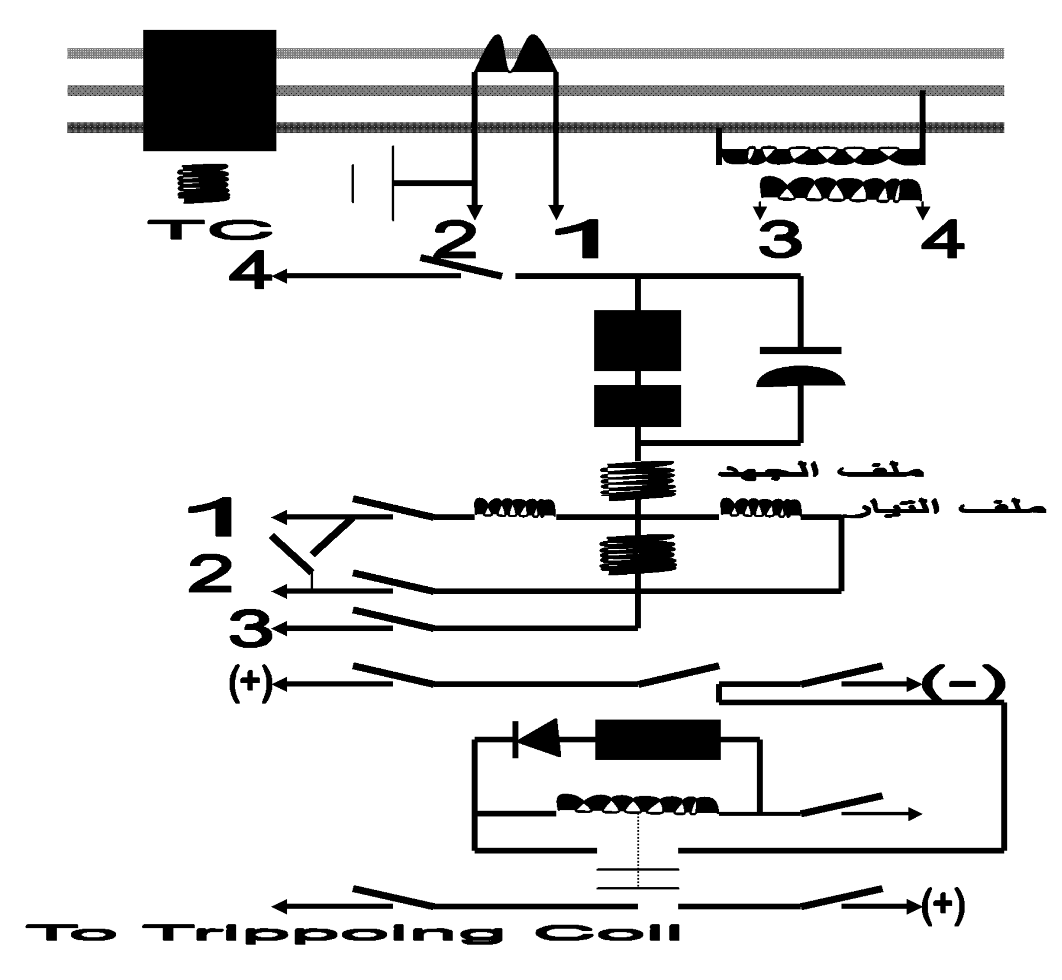
أن منظومة الوقاية تشتمل علي دائرة وقاية أو أكثر وفي بعض الأحيان كانت الدائرة الواحدة منها تحتوي علي أكثر من متمم وبذلك ظهر المتمم المساعد وأيضا محولات التيار والجهد المساعدة ومن أجل هذه النقاط وبجانب غيرها مما قد نحتاج فيه إلي المزيد من الشرح نضع هذا البند في سلسلة من المواضيع الرئيسية الهامة في منظومة الوقاية أو دائرة الوقاية ذاتها.

أولا: الوقاية الإتجاهية Directional Protection

تعتمد الوقاية الاتجاهية علي مبدأ الرجوع إلي مرجع أو كمية مرجعية ويقيس عليها الاتجاه ومن الممكن أن تكون زاوية تيار أو جهد أو غير ذلك ولهذا تتنوع هذه المراجع في متممات الاتجاه إلي نوعين هما أما مرجع واحد لكمية واحدة أو لكميتين وبالتالي يجب الاهتمام بعلامات القطبية polarity، أما عن الوقاية من هذا النوع فلا يمكن أن تستقل بدائرة وقاية ولكنها تدخل دائما علي التوالي مع متممات من نوع آخر كما سبق التوضيح في الفصلين السابقين ومن ثم تدخل متممات الاتجاه مع غيرها من المتممات وبتوصيل التوالي دائما لتتكون دائرة وقاية للكمية المختارة مع تحديد الاتجاه. يستخدم نوعي المتممات السابقة (كهرو مغناطيسية وساكنة) في هذه التطبيقات ويقدم الشكل رقم 7-1 متمم اتجاه علي وجه واحد بينما الشكل رقم 7-2 يعطي هذا المتمم علي وجهين بالاستعانة بالنوع الكهرو مغناطيسي بالنسبة لمتممات اتجاه سريان القدرة ***Directional Power*** *كما تستخدم* أنواع المتممات الساكنة الأساسية بكفاءة عالية مثل استخدام بلورات هول أو قنطرة التوحيد في المتممات الاتجاهية ، وتعمل هذه المتممات بزاوية حركة قصوى (مشوار) قياسية بالقيم 30 ، 45 ، 60 ، 75 ، 90 ْ أو غيرهم أكبر في الزاوية وهذا يتيح فرصة لتسجيل الشكل الموجي عند حدوث الخطأ (القصر).
ففي متممات هول تقاس الزاوية بين كلا من التيار I والجهد V كما تتحول قيمة الجهد إلي القيمة التفاضلية (dV/dt) وتكون هي المدخل الأول مع التيار بينما يستقبل المدخل الثاني الجهد مع القيمة التفاضلية للتيار (dI/dt) أما المخرج فيكون الفرق بين المدخلين في الصورة

$$\text{Out put} = V\,(dI/dt) - I\,(dV/dt) \qquad (7\text{-}1)$$

يستعان أيضا بقنطرة التوحيد في هذا الصدد وقد سبق التعامل معها في الفصول السابقة وهناك متمم المقارنة الجيبي وهو الذي يعمل علي أساس أن الزاوية بين التيار والجهد هي المعيار حيث تقارن مع القيمة المرجعية للزاوية والتي عادة تكون 90° وهناك أيضا متمم المقارنة بالقيمة المؤسس علي المرجع كقيمة محددة لتحديد الاتجاه، كما تعمل الدوائر المتكاملة والرقمية دورا رئيسيا في هذا النطاق وبدأت تحل بسرعة محل كل المتممات من الطراز الديناميكي السابق لما لها من مزايا متعددة.



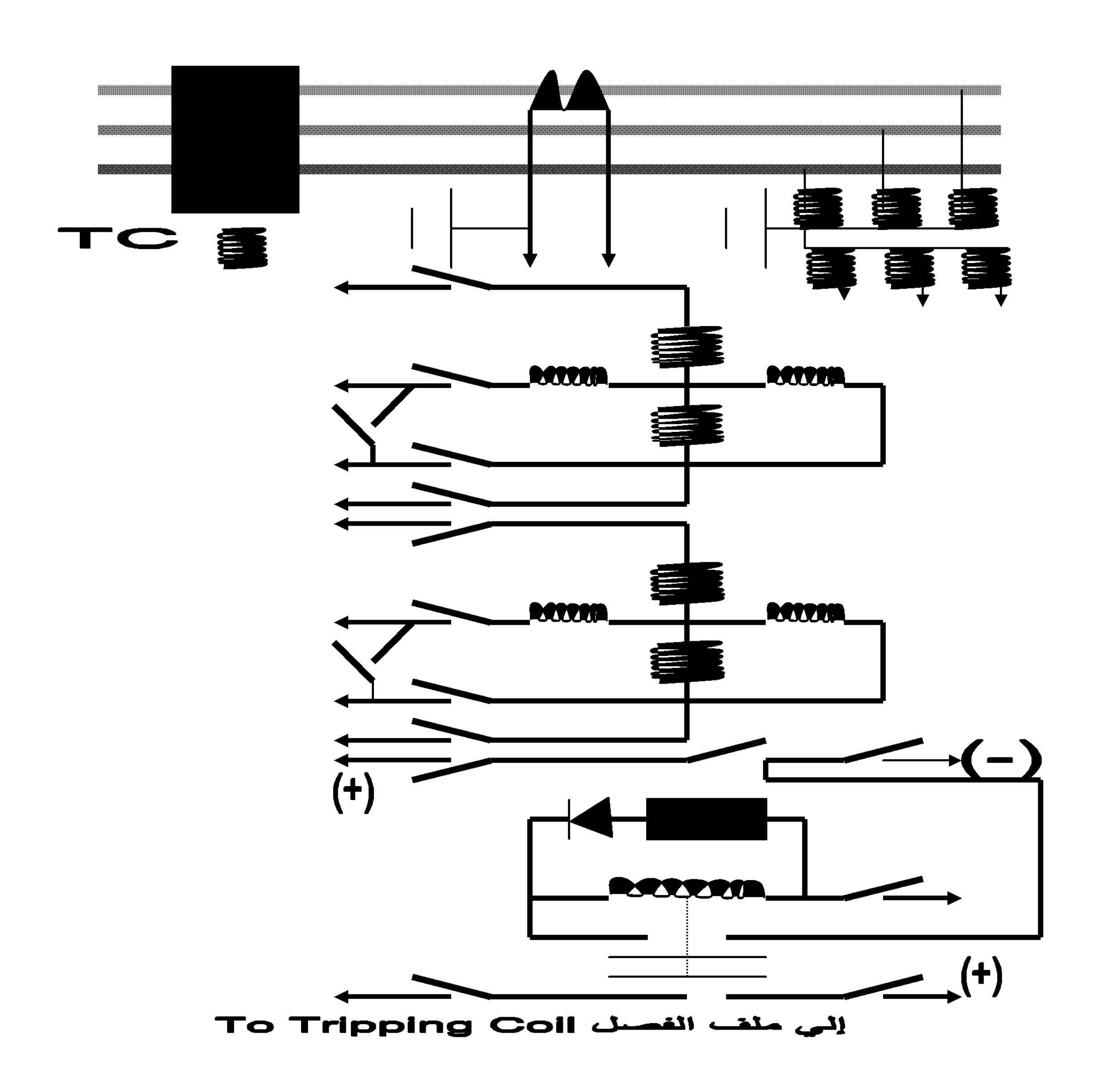
الشكل رقم 7-1 : متمم اتجاه سريان القدرة

ثانيا: الوقاية الاحتياطية Back Up Protection

الوقاية الإحتياطية عبارة عن وقاية ثانية بجانب الوقاية الأساسية وهي بذلك تأتي في المرتبة الثانية من حيث التشغيل وليس الأهمية لأنها تعتبر مهمة تماما وعي نفس مستوب الأهمية مع الوقاية الأساسية. من ثم نجد أن الوقاية الأساسية قد تعجز أحيانا عن أداء عمل ما معين وبالتالي يتم إسناده إلي الوقاية الإحتياطية، أو قد تعجز الوقاية الأساسية تغطية الوقاية في

مكان معين وبهذا تسند هذه المهمة إلي الوقاية الإحتياطية. هكذا نجد أن الوقاية الإحتياطية عبارة عن وقاية رئيسية ولكن إما لتغطية تمييز زمني أو تمييز مكاني أو تمييز نوعي كما سبق وظهرت هذه الأمور عند الحديث عن التمييز في الفصول السابقة.

تنقسم الوقاية الاحتياطية إلي نوعين هما:



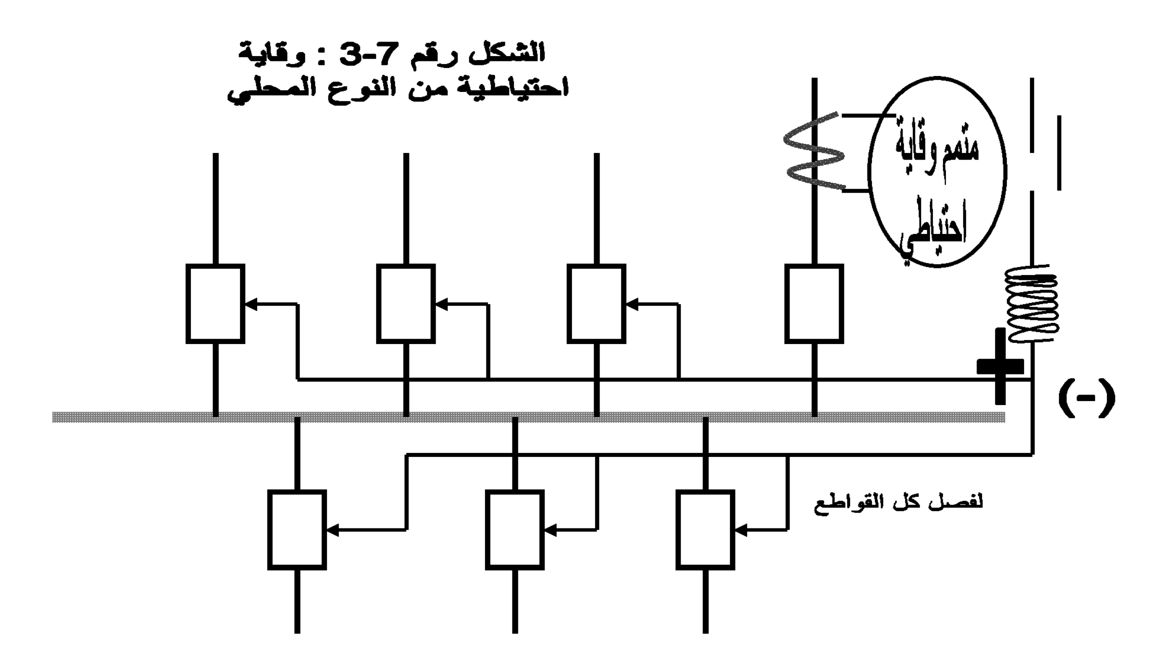
الشكل رقم 7-2 : متمم قدرة علي وجهين

الأول: الوقاية المجاورة
Adjacent Protection

هذا النوع متبع وشائع الاستخدام وتعتمد عليه شبكات الوقاية علي وجه العموم ولكنه غير كاف لأنه معيب بالحساسية المنخفضة وهو متبع مع العديد من دوائر الوقاية مثل زيادة التيار وكذلك وقاية المسافة وقد سبق الشرح لهذه النوعية من قبل في الفصول السابقة.

الثاني: الوقاية المحلية
Local Back Up Protection

هذا النوع هو الأكثر دقة لأنه عالي الحساسية ويستخدم بصفة مستقلة للحماية ضد فشل أي من القواطع في أداء الفصل التلقائي فيعمل المتمم علي إصدار الأمر لكل ملفات الفصل لكل القواطع المشتركة مع القاطع كي يفصل جميع القواطع الأخرى لتحل محل القاطع المعيب فتفصل الدائرة المعيبة ويجب التأكيد علي تخصيص محول تيار مستقل لمثل هذه الوقاية كما في الشكل رقم 7-3 كما أن هذه النوعية من الوقاية تتميز بجانب الحساسية العالية بجانب ميزة الاختيارية.



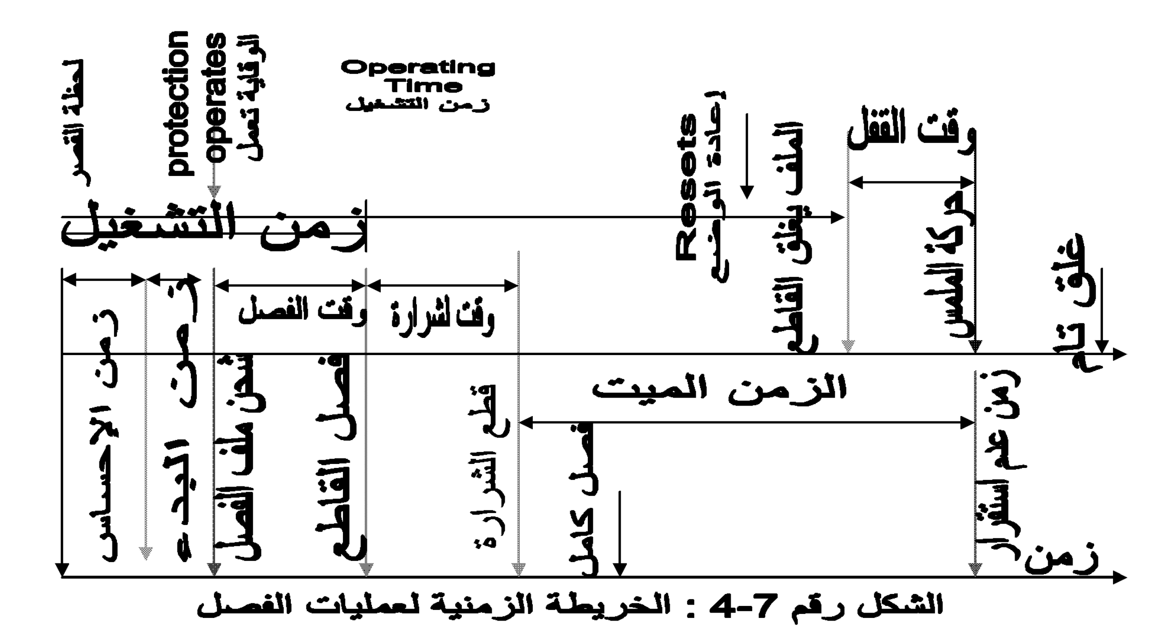
ثالثا: إعادة التوصيل التلقائي Automatic Re-closing

تؤكد الإحصائيات علي أن 80 – 90 % من الأعطال التي تتسبب في فصل الخطوط الهوائية علي الجهد العالي والفائق عبارة عن أخطاء وقتية عابرة من خلال الكسر الكهربي السطحي المؤقت علي العوازل أو تلامس الأجسام الغريبة الخارجية مع الأسلاك بشكل مؤقت بينما يمثل الباقي (10 – 20 %) إما أخطاء مستديمة أو تلك شبه المستديمة ولهذا يوصى بالتوصيل التلقائي بعد الفصل علي قصر للتأكد من أن العطل مؤقت ويبين الشكل رقم 7-4 الخريطة الزمنية للتابع التلقائي في عمليات الفصل والتوصيل بالشبكة الكهربائية في حالة إذا ما كان العطل مؤقتا **transient fault** وغير ثابت.

يظهر من الشكل 7-4 أن العلاقة الزمنية المحددة للأزمنة المختلفة الداخلية متعددة فنجد أن زمن الخلل بالشبكة وهو المحدد منذ لحظة الخطأ وحتى إعادة التوصيل الناجح وهو

$$\text{System Disturbance Time} = (\text{Dead} + \text{Operating})\ \text{Time} \qquad (7\text{-}2)$$

نجد أن زمني التشغيل لكل من دائرة الوقاية والإحساس بالخطأ حتي يبدأ في عمله إنتهاءا بأن يصدر الأمر للمتممات كي تعمل فيبدأ الزمن اللازم لتشغيل المتممات وهو زمن التشغيل الثاني وهو ما ظهر في المعادلة رقم 7-2 وهو ما يتضح علي الخريطة في الشكل رقم 7-4، أما زمن التشغيل الثاني وهو الخاص بمنظومة الوقاية فهو



الشكل رقم 7-4 : الخريطة الزمنية لعمليات الفصل

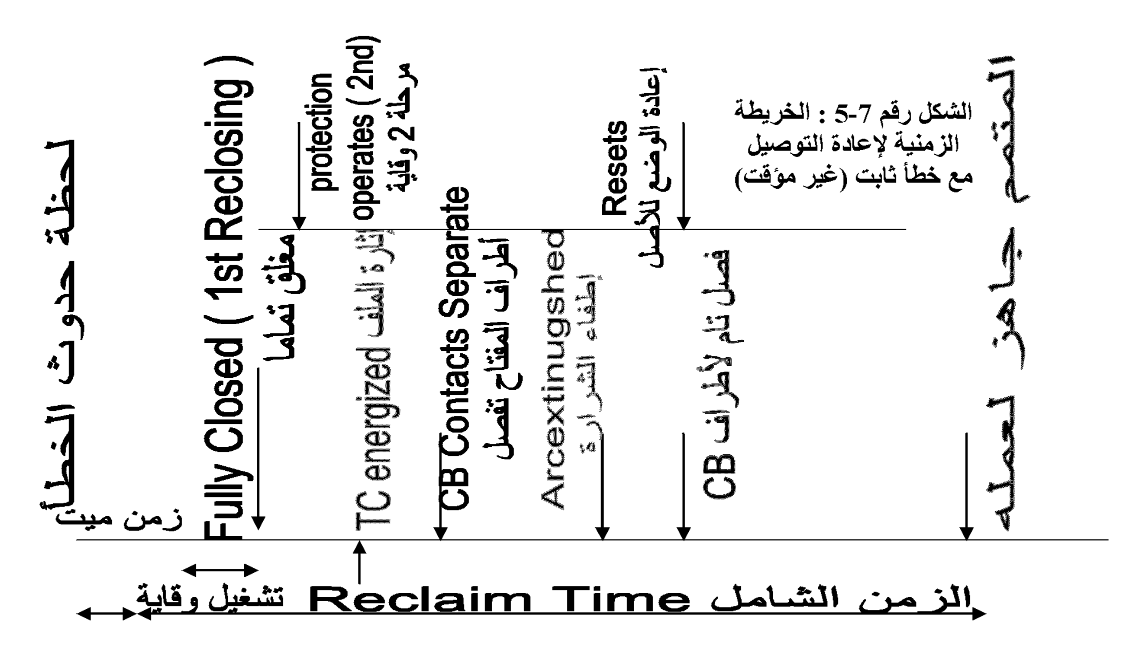
$$\text{Operating Time} = (\text{Sensing} + \text{Opening} + \text{Arcing})\ \text{Time} \qquad (7\text{-}3)$$

يعبر الزمن الميت عن الوقت منذ انتهاء الشرارة بين ملامسات القاطع وحتى تكرار نفس اللحظة في حالة إعادة التوصيل التلقائي كما موضح علي الخريطة.
من الناحية الأخرى في حالة الأعطال غير المؤقتة أي الثابتة أو شبه الثابتة فتكون الخريطة الزمنية مكملة بعد تلك المنهية في الحالة المؤقتة (الشكل رقم 7-4) وتصبح لها امتدادا تلك الخريطة المبينة في الشكل رقم 7-5 فيبدأ الرسم هنا منذ التوصيل التلقائي الأول.

هنا يكون الوقت الميت أكبر من ذلك في الحالة السابقة حيث يدخل في الحسبان مضافا إلي ذلك الوقت الميت السابق ذلك الزمن الخاص بتشغيل منظومة الوقاية في التوصيل التلقائي الأول وقد يقل عن ذلك بوقت التوصيل لملامسات القاطع في المرة التلقائية هذه ولهذا نجد أن خصائص ومواصفات القاطع المستخدم من أهم العلامات المميزة في نجاح عملية التوصيل التلقائي وما قد يسمح به من وقت أطول لإعادة التوصيل.

$$\text{Full Operating Time} = \text{Operating Time} + \text{Mechanism Stop Time} \qquad (7\text{-}4)$$

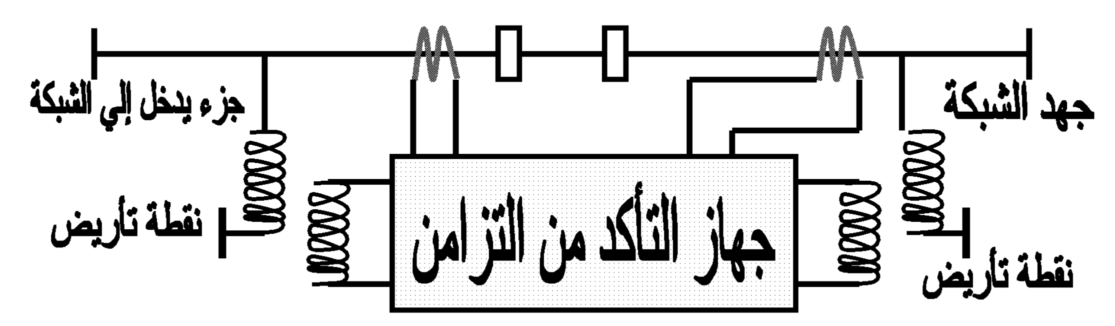
يعطي الجدول رقم 7-1 بيانا عن المدة الزمنية المقننة لنوعي مفتاحين قياسيين علي الجهد 11 ك. ف. حيث نجد الميزة الأكبر لزيادة المدة المسموح بها لإعادة التوصيل التلقائي.



الشكل رقم 7-5 : الخريطة الزمنية لإعادة التوصيل مع خطأ ثابت (غير مؤقت)

رابعا: دائرة التزامن Synchronizing Circuit

تأتي دائرة التزامن هذه (الشكل رقم 7-6) من أجل الحفاظ علي أي دخول إلي الشبكة الكهربائية فعند دخول مولد يجب أن تتوافر ثلاث شروط للتزامن وهي ذات الشروط اللازمة لتوصيل قضبان مع خط أو مع محول ولا يتوقف الأمر علي المولدات لأن دخول جهة لها نفس صفات المولد وعند تمثيلها رياضيا نأخذ الدائرة المكافئة للمولد ومقاومات أو معوقات باقي الوصلات الأخرى وهذا يعطينا شرطا أساسيا عند التعامل مع التوصيل علي الشبكة الكهربائية سواء جزءا مستقلا أو جزء ا من الشبكة مع آخر في ذات الشبكة أو غيرها من الشبكات المتجاورة يجب التوصيل من خلال دائرة التزامن وهي الدائرة التي تتأكد من وجود شروط التوصيل الثلاث: (إتجاه تتابع الأطوار (موجبة) - الذبذبة (السرعة التزامنية) - قيمة الجهد).



الشكل رقم 7-6 : دائرة التزامن لتوصيل الشبكة الكهربائية

الجدول قم 7-1 : بيان عن الفترات الزمنية (بوحدة الثانية) لتشغيل القاطع 11 ك. ف.

بيان المدة	القاطع السولونويد	القاطع الياي
من بداية الفصل حتى بداية حركة الملامسات	0.06	0.06
من بداية الفصل إلي انتهاء الشرارة	0.1	0.1
من نهاية الشرارة إلي إعادة الوضع	0.1	0.08
من ضبط الميكانيزم إلي تلامس الملامسات	0.3	0.16
من ضبط الميكانيزم إلي التوصيل التام	0.32	0.18
من نهاية الشرارة حتى تلامس الملامسات	0.4	0.24

2-7: مصدر التيار المستمر DC SUPPLY

توجد بعض المعاملات الهامة للتعامل مع تصميم البطاريات أو التفضيل بينهم وهي: (معامل أمبير ساعة – معامل R_s المحدد لحجم الخلية اعتمادا علي طريقة القطب الموجب – معامل تقادم البطاريات K_a) حيث تحتاج دوائر الوقاية المختلفة ومن ثم منظوماتها (شبكة الوقاية) إلي التيار المستمر علي الجهود المتباينة وبقدرات مختلفة في الكثير من المواقع سواء العلمية أو الصناعية أو مواقع الخدمات فمثلا في المحطات الكهربية بكافة أنواعها مثل التوليد أو المحولات أو التوزيع بغرض الوقاية أساسا أو في العديد من المواقع الصناعية نكون في شدة الحاجة لها ويزداد هذا الوضع في الشبكات الصناعية حيث تتشعب الآليات وفي الكثير من الأعمال التكنولوجية وفي الأعمال العلمية والمعامل وغيرهم ولكننا الآن بصدد التيار المستمر في المحطات حيث أن هذا التيار المستمر يقوم علي خدمة الأحمال التالية:

1- شبكة الوقاية بالموقع Protection Gear

هي الدوائر ومنظومات الوقاية الداخلة معا لأداء التنسيق المتكامل في ما بينها فهي التي تتكون من كل المنظومات التي تخص وقاية كل المعدات والأجزاء بالشبكة الكهربائية الرئيسية وذلك بالرغم من أنها قد لا تسحب أحمالا عالية باستمرار ولكنها قد تسحب فجأة أحمالا فوق الطاقة المقننة وخصوصا مع حالات فصل القصر علي القضبان خصوصا وإذا كانت هذه القضبان غير مجزأة فتكون عدد دوائر الفصل التابعة لمنظومة وقاية القضبان كبيرا وتحتاج إلي تشغيل عدد ضخم منها في آن واحد ولذلك يجب أن تتسع قدرة هذه المحطات علي مثل هذه الحالات كي لا تخرج من منطقة الاتزان أثناء أداء الفصل التلقائي الشامل.

2- الأحمال الطارئة بالمحطة Emergency Loads

قد نحتاج إلي أحمالا طارئة أو إضافية في حالة انقطاع التيار الرئيسي عن الموقع فتكو ن الإضاءة الطارئة مثلا ولا يجوز بأي حال أن تتساوى هذه الأحمال مع تلك العادية ويجب أن تقل عن 10 % من المقنن الأصلي.

3- ملفات المجال (إن وجدت) Field

هذه الملفات التي تغذي مجالات المعدات الكهربائية الدوارة المتزامنة في النوع بحيث أن يكون مصدرها غير الأصلي المشغل لها أو المستخدم لها حسب الحالة.

4- دوائر الإنذار Alarm Circuits

حيث تهمنا هذه الدوائر حال التغير في حالة التشغيل أو لوجود أي عطب في أي من المنظومات التي تخص الوقاية أو خلل في مصدر التغذية بالتيار المستمر ذاته.

5- ملامسات التحكم الخاصة بالقواطع
Control Contactors

إنها الملامسات التي تتواجد داخل الدوائر المختلفة والتي تتحكم في حركة الملامسات في بعض الأنواع من الملامسات وهي هامة جدا خصوصا للتشغيل الطارئ.

6- دوائر القياس والأمان والتأمين في بعض الدوائر
Measurement & Security

هذه الدوائر تكون هامة مع دوائر الوقاية من الأخطار أو لتأمين الدخول السليم إلي الموقع أو في التعامل مع أجهزة الجهد العالي أو الخطأ في التشغيل أو في بعض أجهزة القياس التي تحتاج إلي مصدر تغذية للحفاظ علي التشغيل المستمر السليم.
كما أن المحطات المغذية للتيار المستمر متباينة وهي إلي تنقسم إلي نوعين هما:

أولا: النوع المستقل Independent Type

يعبر هذا النوع عن مدى الاستقلالية عن التيار الأصلي ليرفع من اعتمادية التشغيل خصوصا وأننا نحتاج إلي التيار المستمر في لحظات خطرة وطارئة وهي فترات حدوث القصر أو الخلل في تشغيل الشبكة الكهربائية مما يستوجب الحصول علي القدرة من مصدر ذلك الذي قد يكون به عطب، ومن هذا المنطلق تأتي البطاريات في مقدمة الحلول الهندسية حيث أنها لا تعتمد علي المصدر الرئيسي للتغذية خصوصا في فترات حدوث القصر، وهذه المحطات تتكون من عدد كبير من البطاريات وهي تلك التي تتنوع إلي:

1- بطاريات حمضية Lead Acid

هناك طرزا متنوعة والتي يمكن أن تستخدم في هذا الوسط وتتنوع منها

(أ) نوع Conventional Floated Type
(ب) نوع Sealed Gelled Type
(ج) نوع Sealed Liquid-Iminobilized Type

2- بطاريات نيكل كاديوم Nickel Cadmium

تمثل هذه البطاريات من حيث التركيب وبالتالي الخصائص من جهة التشغيل والكفاءة الأفضل نوعية مقارنة مع غيرها إلا أنها معيبة من حيث التكلفة الاقتصادية لأنها الأعلى سعرا وتتكون من عدد من الطرز ومنها:

(أ) نوع الخلايا السائلة Sealed Cell
(ب) نوع الخلايا الجافة Vented Cell
(ج) نوع الخلايا الصغيرة مثل Pocket Cell

يتحدد عدد الخلايا المطلوبة للجهد المحدد وهو في حالة المحطات الكهربائية ذو مقنن 120 ف من خلال هذا الجهد فيكون تبعا للخصائص التي تعطي علاقة الشحن والجهد والمبينة فيما بعد حيث الجهد الأقصى يتبع:

الجهد الأقصى = عدد الخلايا المطلوبة × جهد الشحن (7-5)

بينما الجهد الأدنى يعتمد علي خصائص التفريغ بالصيغة:

$$\text{الجهد الأدنى} = \text{عدد الخلايا المطلوبة} \times \text{جهد التفريغ الأدنى} \qquad (7\text{-}6)$$

من ثم يكون الجهد المحسوب لبعض من هذه الخلايا مدونا في الجدول رقم 7-2.

كما يظهر من الجدول أن مقنن الخلايا الحمضية هو2 ف بينما للخلايا نيكل كاديوم فهو 1.2 ف وإضافة إلي ذلك عادة في حدود 1.25– معامل التصميم F_d ويعادل 1.15 – معامل التصحيح الحراري K_T وهو عادة يساوي الوحدة لدرجات الحرارة المنخفضة. كما أنه من الضروري متابعة وصيانة هذه الخلايا بأسلوب دوري وذلك للتأكد من بعض القيم الهامة وتتضمن:

الجدول رقم 7- 2 : مقننات الجهد للخلايا بوحدات الفولت

نوع الخلايا	عدد الخلايا	جهد أقصى	جهد أدني	جهد كلي (أدني/ أقصي)
خلايا حمضية	60	2.33	1.75	170 / 105
خلايا نيكل كاديوم	100	1.52	1.14	152 / 114

أ) نسبة الحموضة والكثافة النوعية

ب) الوزن النسبي

ج) درجة الحرارة

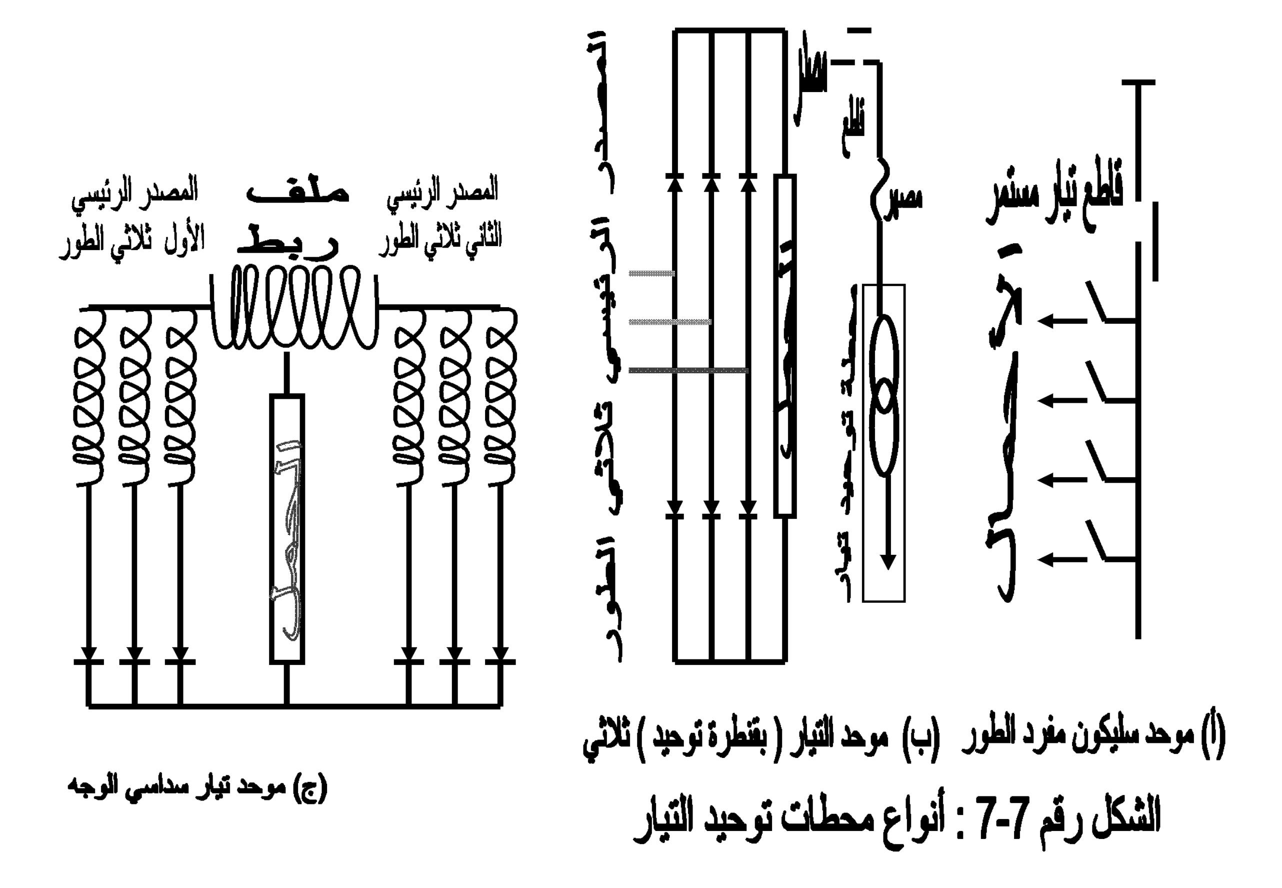
د) جهد الخلية

ثانيا: النوع غير المستقل Dependent Type

هنا نعتمد علي وجود مصدر التيار المتغير لنعتمد عليه في الحصول علي التيار المستمر منه مباشرة وبهذا نستطيع التعامل مع التيار المتردد بطريقتين هما:

الطريقة الأولى: محطات التوحيد Rectifier Station

تأخذ محطات التوحيد للتيار (الشكل رقم 7-7) أشكالا مختلفة فمنها:



(أ) موحد سليكون مفرد الطور (ب) موحد التيار (بقنطرة توحيد) ثلاثي

(ج) موحد تيار سداسي الوجه

الشكل رقم 7-7 : أنواع محطات توحيد التيار

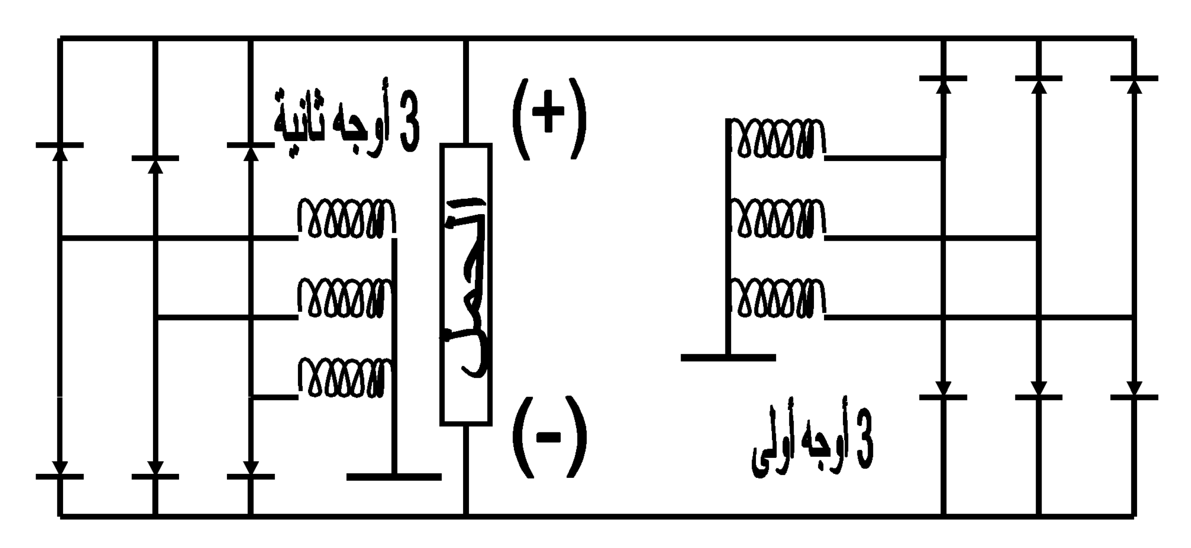
1- محطات توحيد بقنطرة التوحيد من الطور المفرد (الشكل (أ))

2- محطات توحيد بقنطرة التوحيد من ثلاثي الطور (الشكل (ب))

3- محطات توحيد بقنطرة التوحيد من سداسي الطور (الشكل (ج))

تتعلق هذه المحطات المختلفة بقيمة التيار المستمر ومرشح الذبذبات العالية ويعطي الجدول رقم 7- 3 مزايا محطات التوحيد مع نظم التوزيع ثلاثية الأطوار وكذلك السداسية منها وقد تحددت القيمة كنسبة من الجهد المتوسط للتيار المستمر E عند اللاحمل وتيار الحمل I عليه إضافة إلي جهد الطور Vs بالنسبة للتيار المتردد ، كما نوضح أن أقصى جهد يعتمد علي حالة التحميل فمثلا إذا كانت حالة الدائرة المفتوحة فيكون الجهد الأقصى المنعكس هو $2\sqrt{2}$ بالنسبة للشكل (ج) بينما عند الحمل الكامل ويظهر في الجدول بالقيمة ($\sqrt{6}$) من جهد الطور في التيار المتردد.

من الناحية الأخرى يمكننا الجمع بين مزايا قنطرة التوحيد وازدواجية الأطوار الثلاث فيعطي الشكل رقم 7-8 الشكل العام لدائرة كهربية كمصدر للتيار المستمر أخذا من الأوجه الستة ولكن مضافا لها قنطرة التوحيد وهو ما سوف يحسن من خصائص التنعيم للموجة وهو ما يتم من خلال مرشحات للذبذبة العالية وذلك للحصول علي تيار مستمر بدون موجات توافقية.



الشكل رقم 7-8 : دائرة تيار المستمر بقنطرة التوحيد مع سداسي الأوجه

الجدول رقم 7-3 : بيان بقيمة المقننات في مختلف محطات التوحيد

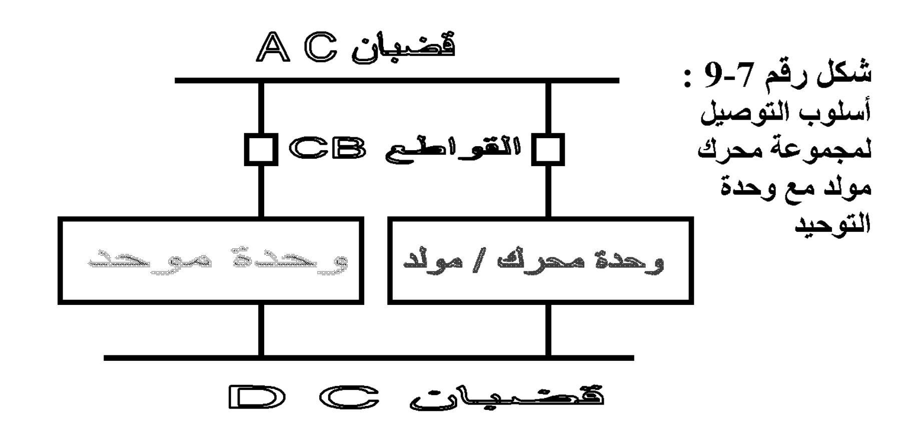
البيان	الشكل (ب)	الشكل (ج)
تيار الملفات rms	(2 / 3) √ تيار الحمل	{2 / (√3)} تيار الحمل
مقنن ملفات DC (VA)	1.05 × تيار الحمل × جهد الحمل	1.48 × تيار الحمل × جهد الحمل
مقنن ملفات A C(VA)	1.05 × تيار الحمل × جهد الحمل	1.05 × تيار الحمل× جهد الحمل
جهد الخروج	2.34 × جهد الوجه	1.17 × جهد الوجه
مستوى تأرجح قمة الموجة	% 4.5	% 4.5
التيار المتوسط بالموحد	(3/1) × تيار الحمل	(6/1) × تيار الحمل
قيمة rms لتيار الموحد	{1/ (√3)} × تيار الحمل	{1/ (2 × √3)} ×تيار الحمل
أقصى جهد خروج	(√6) × جهد الوجه	(√6) × جهد الوجه

الطريقة الثانية: مجموعة المحرك/ المولد Motor/Generator Set

هي مجموعة مضافة إلي ما سبق ذكره لتكون خط دفاع ثان بعد محطة التوحيد السابقة كي تزيد من اعتمادية تغذية البطاريات أو رفع الإعتمادية عن طريق زيادة عدد البدائل لها وهو محرك بالتيار المتردد يغذي مولد يعطي تيارا مستمرا ويعيب هذا أنه لا بد من تواجد مصدر تيار متردد كي يعمل ولهذا السبب ذاته تتواجد الميزة لأنه يمكن التعامل مع مولد صغير خارجي للتيار المتردد فيعطي لنا التيار المستمر الضروري خصوصا في حالات سقوط محطات التوليد الكبرى، تتميز هذه المجموعة أيضا بما يلي:

1- رفع القدرة المتاحة علي قضبان التيار المستمر
2- تعويض الخسارة المفقودة أو المستهلكة من البطاريات
3- رفع قيمة القدرة المضافة أثناء الفصل التلقائي الشامل

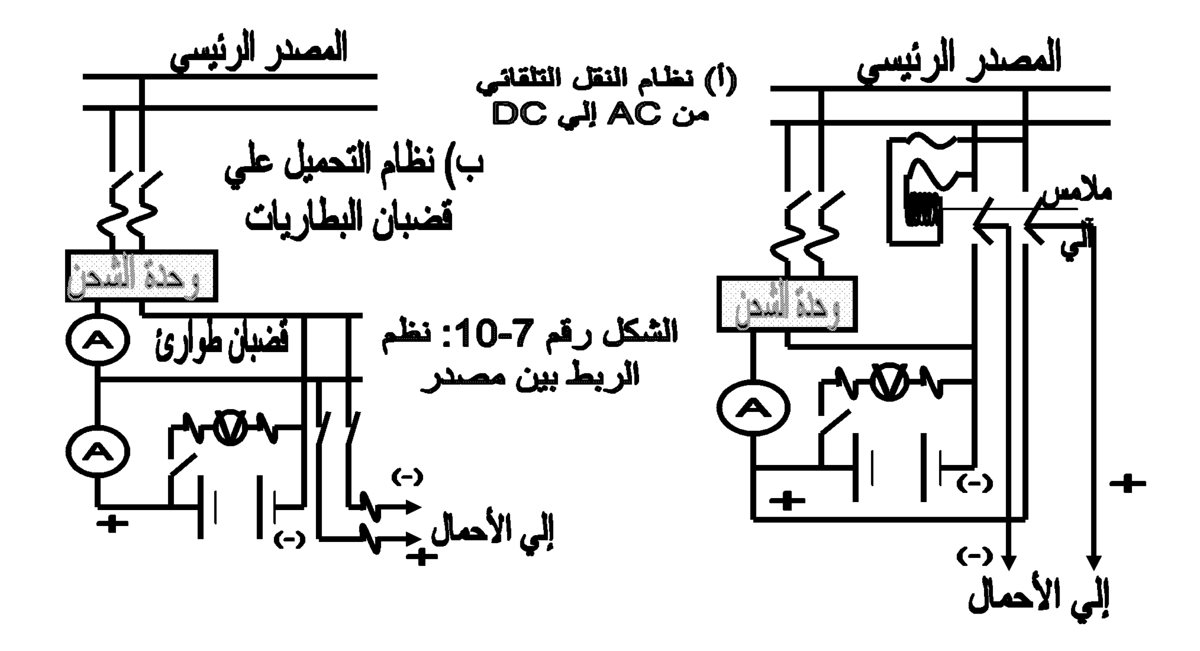
لهذا تعمل هذه المجموعة بالأسلوب الآلي مع تواجد إمكانية التعامل معها يدويا ويتم توصيلها علي التوازي مع مجموعة الموحدات (الشكل رقم 7-9). CB



شكل رقم 7-9 : أسلوب التوصيل لمجموعة محرك مولد مع وحدة التوحيد

ثالثا: الربط بين مصادر التيار المستمر Connection Concept

طريقة الربط بين مصادر القدرة الكهربائية علي الجهد المستمر تعني كيفية التوصيل بين أنواع التيار المستمر كمصدر تيار معا وهو ما نراه في الشكل رقم 7- 10 حيث نجد أسلوبان للربط يمثلان محوري العمل من أجل شحن خلايا البطاريات في محطة التيار المستمر وضمان استمرارية تغذية الأحمال بها بصفة مستديمة في هذا النطاق، لهذا نضع إطارا لهما فيما يلي:



الشكل رقم 7-10: نظم الربط بين مصدر

1- محور التغذية السريعة DC Supply Continuous

أنه المحور الأول ويعمل آليا بين كلا من المصدر الرئيسي للتيار المتغير بعد تحويله إلي تيار مستمر مباشرة والمصدر المستقل من البطاريات (الشكل 7-10 (أ))

2- محور الشحن للبطاريات Charging System

المحور الثاني يضع قضبانا عائمة يوضع عليها الأحمال بصفة دائمة سواء كانت التغذية من المصدر الرئيسي أم المستقل (الشكل 7-10 (ب)) وبذلك يتم شحن البطاريات بصفة مستمرة ودائمة ولكنه يتنوع تبعا لحالة البطاريات والتي تتأثر بكمية القدرة المستهلكة في التشغيل في وقت الاستقرار أو في أوضاع الفصل التلقائي، وهذا الشحن نتبع معه أسلوبان هما:

(أ) أسلوب الشحن السريع Trickle Charging

يعتمد هذا الشحن علي تعويض القدرة المفقودة من خلايا البطاريات والمستهلكة في التشغيل المعتاد لشبكة الوقاية وما بها من منظومات مختلفة للوقاية كي تكون جاهزة بصفة دائمة لأي حالة فصل تلقائي علي نطاق واسع ومن ثم يكون هذا الشحن دائم التشغيل ويتم ذلك من خلال توصيل الوحدة الخاصة بهذا الشحن السريع مع البطاريات بصفة دائمة وتكون هي حلقة ربط دائمة بين محطة البطاريات والقضبان الرئيسية للجهد المتغير بالشبكة الرئيسية، وتتميز هذه المرحلة الدائمة من الشحن بتناهي قيمة تيار الشحن والنسبة العالية في الاستقرار فيها.

(ب) أسلوب الشحن طويل المدى Charging

تنتهج هذه العملية مبدأين جوهريين هما:

المبدأ الأول: مبدأ ثبوت التيار Constant Current

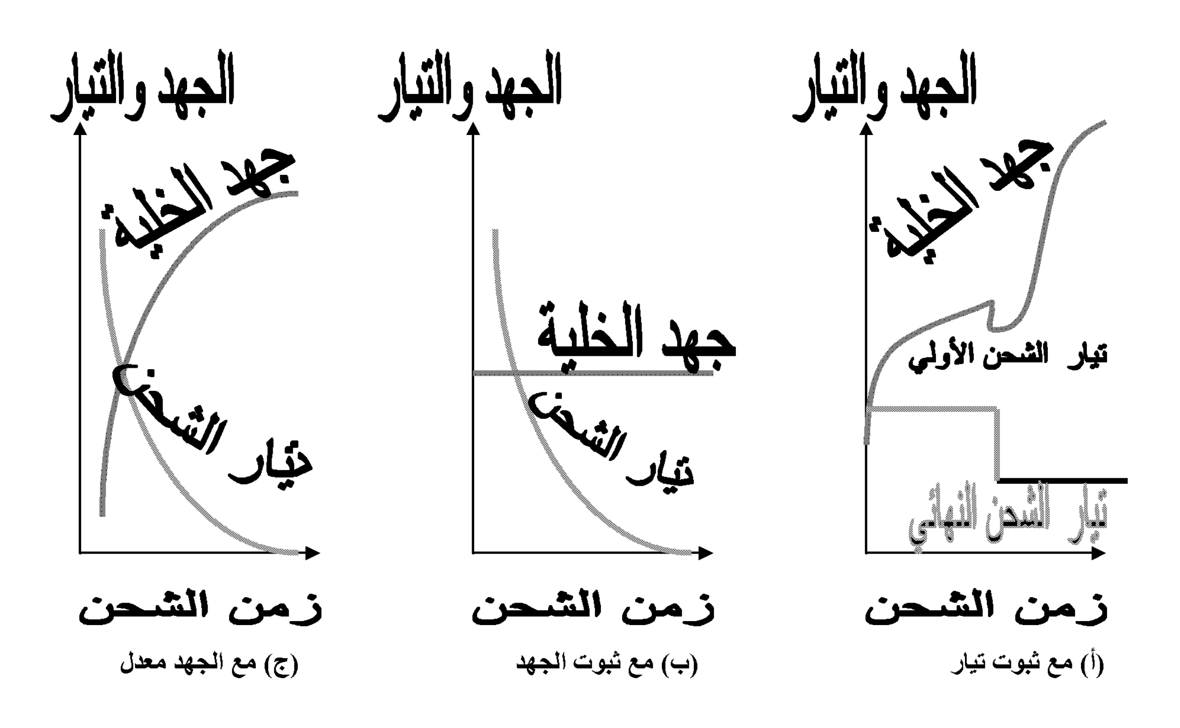
يتغير كلا من الجهد والتيار علي أقطاب خلايا البطاريات مع كل لحظة وما دام الشرط هنا هو ثبوت التيار فيكون التيار ثابتا في فترات معينة كما هو محدد في الشكل رقم 7- 11 (أ) وتظهر نقطة تغير لحظة تتواكب مع النقطة الغازية gassing point في البطاريات من النوع الحمضي.

المبدأ الثاني: مبدأ ثبوت الجهد Constant Voltage

نحتاج إلي أن يكون الجهد علي طرفي البطاريات هو الثابت فقد يأخذ تغيرا من وضع إلي آخر وبالتالي ثبوت الجهد قد يتنوع إلي حالتين هما:

الحالة الأولي: حالة ثبوت الجهد Constant Voltage

في هذه الحالة يتم وضع البطاريات بالتوصيل المباشر دون مدخلات علي التوالي أو التوازي بالدائرة وتكون مباشرة من المصدر وتغذي البطارية أو الخلية حسب الأحوال ولا يمكننا التحكم في الجهد أو التيار لعدم وجود الجزء المتغير في الدائرة (الشكل رقم 7- 11 (ب)).



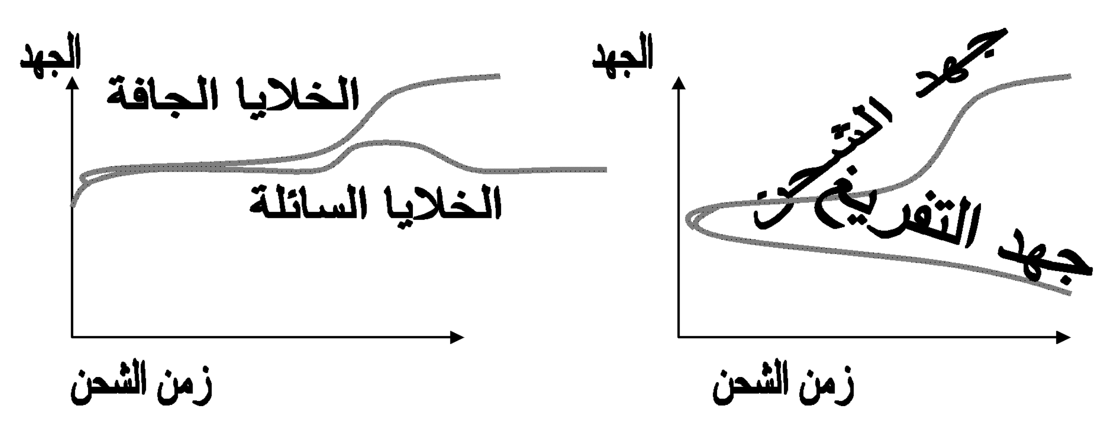
الشكل رقم 7-11 : شحن البطاريات الحمضية

الحالة الثانية: حالة ثبوت الجهد مع التعديل الدائم
Modified Constant Voltage Charging

يتم هذا الأسلوب تبعا لتوصيل ملف خانق أو متغيرة في الدائرة للتحكم في أسلوب الشحن مع التعديل المطلوب تطبيقه (الشكل رقم 7- 11 (ج))، ويعطي الشكل رقم 7-12 أيضا تأرجح الجهد أثناء الشحن لنوعي الخلايا المبين حيث يكون لجهد الشحن تصرفا مغايرا له أثناء التفريغ وهو ما يجب أن يوضع في الاعتبار عند الاختيار لتغطية أقصى قدرات مطلوبة في أسوأ حالات الحمل الطارئ ويلزم التنويه عن أن درجة حرارة الهواء المحيط ذات علاقة مباشرة بهذا التغير مما يضع في الاعتبار محاولة وضع الخلايا في موقع مكيف الهواء، وعلي الجانب الآخر نري أشباه الموصلات كصفات متعلقة بالجهد واستخدامها كموحد كما في الشكل رقم 7-13 والمحدد لخلية من السليكون.

7-3: وقاية شبكة الوقاية Protection of Protective Gear

شبكة الوقاية protective gear تحتل مكان الأمانة علي روح الشبكة الكهربائية الرئيسية main network وهي أيضا مع أجزائها ومنظوماتها معرضة للمخاطر والعيوب الخارجية أو أخطاء التشغيل أو أحيانا ضعف التصميم أيضا وبالتالي تحتاج هذه الدوائر إلي العناية والاهتمام الذي نتعرض له بإيجاز في السطور القادمة.



(أ) جهد الشحن لخلايا نيكل كاديوم (ب) الشحن لنوعين من الخلايا

الشكل رقم 7-12: شحن بطاريات النيكل كاديوم

أولا: وقاية البطاريات Battery Protection

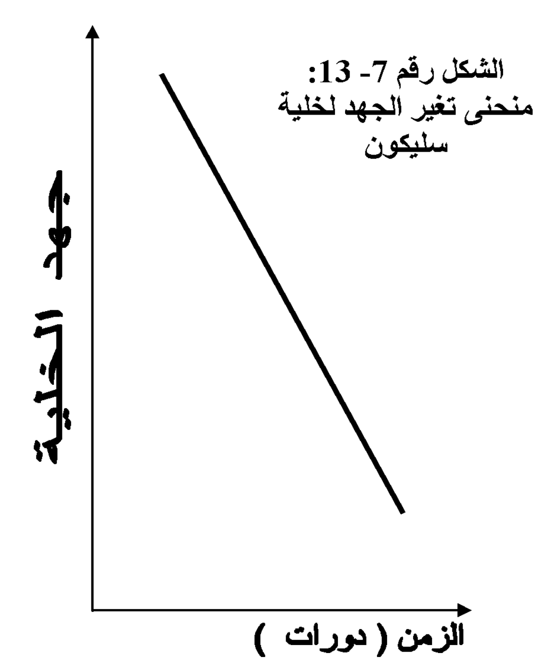
تعتبر البطاريات من أهم أجزاء شبكة الوقاية حيث أنه المصدر الجوهري لتغذية دوائر الوقاية بمختلف أنواع المنظومات التي تحصل علي قدرتها من هذه البطاريات وهي التي قد تتعرض إلي الأخطاء المحددة فيما بعد.

1- الأخطاء والعيوب Faults

تتنوع هذه الأخطاء الخاصة بخلايا البطاريات إلي أخطاء متنوعة مثل:

(أ) العيوب الداخلية Internal

تعتبر العيوب الداخلية أنها تلك العيوب التي قد تنتج عن عيب في ألواح الخلايا الداخلية أو في التركيب الكيميائي أو تغيير في الخواص الكهربائية داخليا وهي عيوب جوهرية قد تحتاج إلي التغيير لهذا الجزء المعيب وهي عيوب كيميائية بجانب تلك العيوب الخاصة بكسر العازل الكهربي بين الأقطاب أو الألواح وهي من العيوب الهامة التي يجب معالجتها هندسيا بالأسلوب السليم حفاظا علي هذه البطاريات كي تعمل بصفة دائمة دون إلحاق ضرر بدوائر الوقاية المرفقة بها، ومن هنا تأتي أهمية أسلوب توزيع البطاريات بين القضبان الموجبة والسالبة كي ترفع الكفاءة من جهة وتزيد من الاعتمادية عن الأخرى ويبين الشكل رقم 7- 14 التوزيع المتبع في توصيل البطاريات داخل محطة البطاريات.



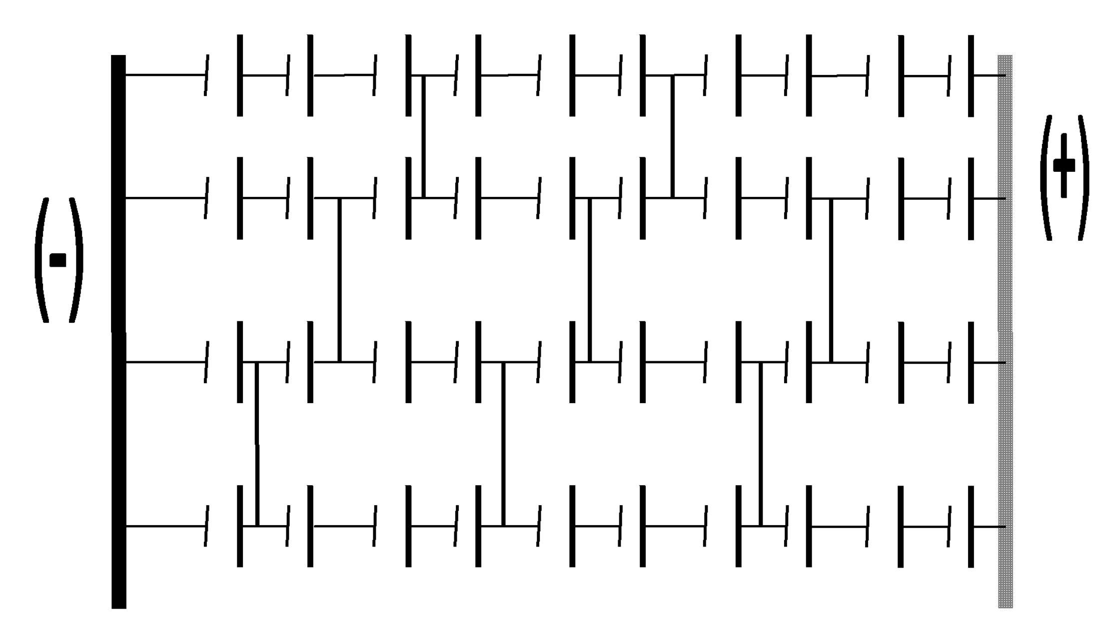
الشكل رقم 7- 13: منحنى تغير الجهد لخلية سليكون

(ب) الأخطاء الخارجية External

تنحصر الأخطاء الخارجية هنا في قطع أحد الأقطاب أو وجود قصر كهربائي علي خروج البطاريات أو أي منها وهو ما يمثل أقصى درجات الخطورة لأنها تقطع التيار المغذي للوقاية علي وجه العموم ولهذا توضع درجات الاستعداد القصوى تحسبا لأي قصر في الشبكة الكهربائية الرئيسية في تلك اللحظات وحتي إعادة الأوضاع إلي الشكل الطبيعي.

2- مستويات الوقاية Level of Protection

مستويات الوقاية لحماية البطاريات ككل أو لكل خلية علي حدة تكون علي مرحلتين هما:



الشكل رقم 7- 14 : توصيل خلايا البطاريات

(أ) الحدود الدنيا Minimum

يعتبر المصهر أول أنواع الوقاية للبطاريات ضد أي قصر خارجي وبالتالي تحمى البطارية من مرور أعلي من المقنن ويخرجها عن التشغيل أو التغذية للحمل.

(ب) الوقاية الأساسية Basic

تشتمل الوقاية الأساسية للبطاريات علي المصهر أيضا بجانب حماية ضد زيادة الحمل وضد الارتفاع الحراري ويمثل المصهر الوقاية ضد زيادة التيار وقد يستخدم أيضا لوقاية زيادة الحمل وهي وقاية غير مكلفة وبسيطة.

ثانيا: وقاية الموحدات Rectifier Protection

تعتبر الموحدات والتي عادة تصنع من السليكون من أهم الأجزاء التي تحتاج إلي الرعاية والوقاية ضد الأخطار ولذلك نضع الحديث عنها في نقاط مبسطة كما يلي:

1- الأخطاء والعيوب Faults

تتعرض الموحدات إلي عدد من الأخطاء نبينها في النوعين القادمين بعد:

(أ) العيوب الداخلية Internal

تتنوع العيوب في الموحدات من فشل وسائل التبريد لأن الخصائص الحرارية لها هامة للغاية وكذلك إذا عجز الموحد عن الصمود للجهد العكسي inverse voltage كما قد يحدث العيب من العزل الكهربائي لمنطقة الوصل الكهربائي junction داخل الموحد، ومن الممكن أن يزيد التيار عن فتح الموحد أمام الجهد عن القيمة المقننة فيحتاج إلي وقاية لمنع هذه الزيادة من الحدوث.

(ب) الأخطاء الخارجية External

تتباين الأخطاء الخارجية من تحميل فوق الطاقة الممكنة أو زيادة تيار نتيجة لقصر مباشر علي الدخول إلي الموحدات أو في دائرة التيار المستمر بعد الخروج من الموحدات وكلها أخطاء لها احتمالات عالية يجب وضعها في الاعتبار عند التعامل مع تصميم الوقاية للموحدات بشكل عام.

2- مستويات الوقاية Level of Protection

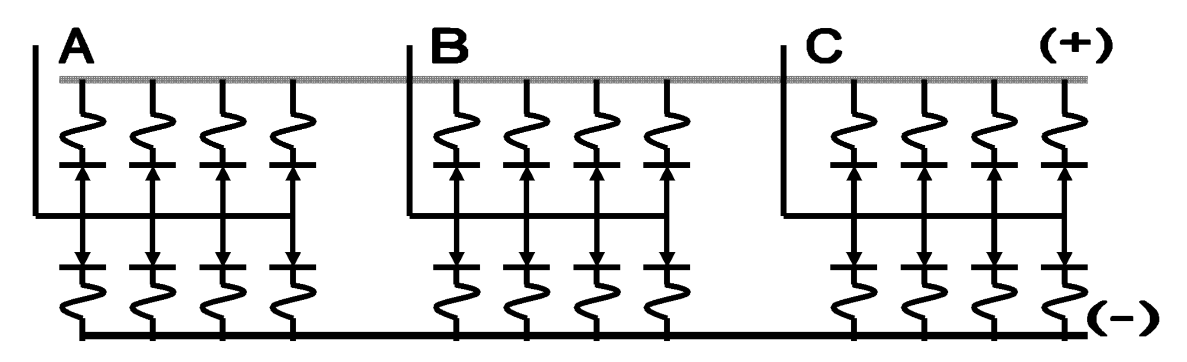
ننتقل إلي مستويات الوقاية اللازمة أو تلك الممكنة للتعامل مع الموحدات وهي:

(أ) الحدود الدنيا Minimum

نبدأ بأول الأساسيات البسيطة وهي توصيل مصهر مع كل موحد لحمايته من زيادة التيار وهو ما يظهر من الشكل رقم 7- 15 والذي فيه يظهر نظام التوحيد المعتمد علي تعدد قنطرة التوحيد ثلاثية الوجه للحصول علي مقنن تيار عالي في جهة التيار المستمر ويظهر مصهر مع كل وحدة سليكون والجهاز رباعي القناطر ويمكن زيادتها لمواجهة الحاجة لتيارات أكبر.

(ب) الوقاية الأساسية Basic

تمثل الوقاية الأساسية تلك المطلوبة لتغطية كافة أنواع الأعطال وهي تتضمن وقاية زيادة الحمل ووقاية زيادة التيار ووقاية إخماد التيار عند الزيادة التلقائية لفتح بوابة الموحد مع الجهد وقد يضاف أيضا التأخير الزمني للفصل مع زيادة التيار لحماية الموحد وقد يستعان بالمصهر سريع الفصل للمستويات متوسطة القدرة من الموحدات، وفي بعض الحالات نحتاج إلي وقاية الزيادة في الجهد العكسي حماية للموحد ويظهر من الشكل رقم 7-16 أنه إذا ما فقد موحد صفاته وأصبح موصلا فسوف يسري التيار من وجه وينتقل إلي الآخر مسببا عدم اتزان في المغذي ثلاثي الطور وبالتالي زيادة في التيار للموحدات ككل.
من الناحية الأخرى يلزم التنسيق بين المصهر والقاطع في أي من دوائر الموحدات فمثلا يجب وضع التنسيق للدائرة المعطاة في الشكل رقم 7-7 (أ) بين القاطع والمصهر تبعا للخصائص الواردة في الشكل رقم 7-16 وتبين التداخل بين جهة التيار المستمر مع تلك للتيار المتردد.



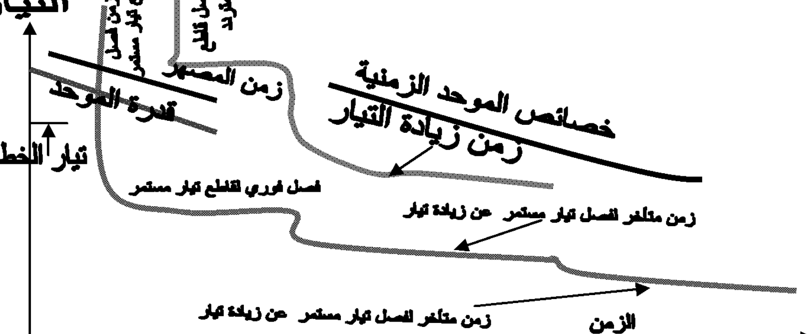
الشكل رقم 7- 15 : دائرة تيار مستمر متعددة القناطر (رباعية) ثلاثية الوجه

(ج) الوقاية القصوى Maximum

نظرا لخطورة الجهد وارتفاعه علي الموحد وحيث أنه يتعرض لزيادة الجهد over voltages إما خارجيا من خلال الصواعق surge أو داخليا من خلال عمليات الفصل والتوصيل في الدوائر الكهربائية المختلفة فتظهر جهود عالية خطرة وخصوصا لها صفة معدل ارتفاع مقدمة الموجة عاليا rise of front وهو ما قد ينتج عن دائرة التيار المستمر أو المتردد أو من حالة عدم اتزان بقيمة انحراف عالية وذلك يؤدي إلي كسر الوصلة الكهربائية داخل شبه الموصل junction ويختفي تبعا لذلك الجهد الصامد inverse voltage في الاتجاه العكسي ويكون بذلك قد فقد الموحد خصائصه الأساسية، ولهذا يستخدم معها وقاية بجهاز إخماد موجات الصاعقة وذلك بالرغم من تحمل بعض الدوائر الإلكترونية لهذه الجهود ولكن لفترات قصيرة جدا مثل الثايريستور والسيلينيوم فدائما تتجه التصميمات لمعامل أمان قدرة 2 أو 2.5 لرفع قيمة المقننات عند وضع حماية الجهد لها.

ثالثا: وقاية دوائر الوقاية Protection of Static Elements

من مبادئ العمل مع دوائر التيار الثانوي لمحولات التيار لا يجوز استخدام قاطع للتيار سواء قاطع أو مصهر كي لا تقطع الدائرة مهما كانت الأخطاء المتعرضة لها ولذلك يتم إدخال المحولات المساعدة في أغلب الأحيان لتساعد علي غلق دائرة محول التيار تماما وإبعادها عن المصهر ووسائل الحماية بينما تتم حماية محولات الجهد بالمصهر في الجهتين العالية والمنخفضة في الجهد ،



الشكل رقم 7-16: خصائص التنسيق والفصل للدائرة الموضحة بالشكل رقم 7- 7 (أ)

أما عن العيوب والتغلب عليها فسوف نلمس جزءا هاما منها في البنود الآتية من خلال هذا الفصل.

1- الأخطاء والعيوب Faults & Defects

حيث أن الدوائر الرقمية والمنطقية والمتكاملة قد ظهرت في مجال التطبيقات منذ عدة عقود ودخلت كلها معا أو منفردة في دوائر الوقاية العاملة بالشبكات الكهربية وحيث أن هذه النوعية من الدوائر ومكوناتها التي تشمل الموحدات (سيليكون – وسيليكون محكومة - سيلينيوم) وترانزيستور والثايريستور والميكرو بروسيسور كما ظهرت المتممات الإلكترونية والقواطع الإلكترونية. بالنسبة للعيوب الداخلية Internal نجد أن كلها تعتمد أساسا علي نقطة العمل الخاصة بها ولذلك فهي تتأثر إلي حد كبير بدرجة الحرارة وتغير من كفاءة الأداء في كل أشباه الموصلات أما الأخطاء الخارجية فكلها مثل تلك التي سبق الحديث عنها في بند الموحدات ومن ثم تحتاج إلي الوقاية المثيلة لتلك السابقة ولكن مع شيء من الإضافة والتحديد لنوعيتها حماية لبقية الأجزاء في الدائرة.

2- أنواع الوقاية Types of Protection

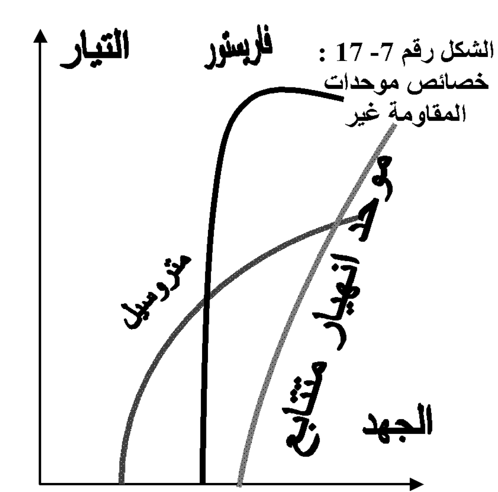
تأخذ أنواع الوقاية هنا ما يخص الدوائر الإلكترونية عموما لأنها تدخل في مكونات الدوائر سواء كانت بالمتممات الساكنة أو تلك الكهروديناميكية أو مغناطيسية ولذلك تحتاج إلي التحديد التالي.

(أ) الوقاية ضد زيادة الجهد Over Voltage Protection

يمكن أن تعمل أجزاء الحماية هذه إما علي التوالي أو علي التوازي تبعا للمقنن وأسلوب العمل وهي تتباين من حيث النوعية والمسمى فأهمها هو:

1- المقاومة غير الخطية Nonlinear Resistance

هي عبارة عن مقاومة لا خطية بحيث عند ارتفاع الجهد لقيمة مرجعية محددة تنهار قيمة المقاومة وتصل إلي الصفر وبذلك تمنع الجهد من الارتفاع عن هذه القيمة في أي وضع تشغيل وهذه المقاومة تشمل بعض الأنواع منها مقاومة كربيد السيليكون والمعروفة باسم المتروسيل (metrosil) ولكنها غير مستخدمة علي نطاق واسع لأنها معيبة بزيادة الجهد إلي الضعف في حالة فرق الجهد المفاجئ بينما هناك نوعا آخر مثل المقاومة الفاريستور(varistor) وهو نوع جديد وله خصائص أفضل وتدخل مادة أكسيد الزنك كمادة فاعلة فيه فتخفض الجهد بدخول مسار موازي للتيار لحظيا.



الشكل رقم 7- 17 : خصائص موحدات المقاومة غير

2- موحدات الانهيار المتتابع (Silicon Avalanche Diodes)

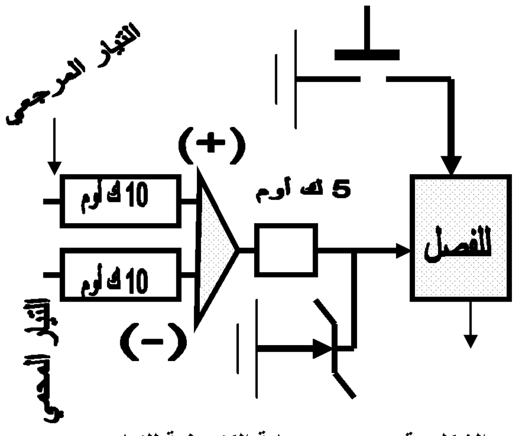
هي موحدات تصنع من السليكون وتعمل في الربع الثالث ولا تتلف من ارتفاع الجهد لأنها قادرة علي امتصاص الطاقة بسهولة في التيارات العالية بسبب انخفاض مقاومتها العكسي ويعطي الشكل رقم 7- 17 صفات النوعيتين من الموحدات.

3- موحدات ضد زيادة جهد المقدمة Front Wave of Voltage

تتباين أنماط هذه الموحدات ومنها موحد انهيار تجاوز break over diode وهو يعمل بالربع الأول أو موحد الزينر Zener Diode الذي يعمل في الربع الثالث لامتصاص الجهد الزائد عندما يرتفع معدل واجهته الأمامية ومن هذه النوعية موحد واقي زيادة الجهد العكسي.

(ب) وقاية زيادة التيار Over Current

نتعامل مع المصهر بشكل أساسي ولكن نوعية المصهر هنا تختلف عن مصهر القوى ويجب أن يكون من الطراز سريع الفصل ومدته أقل من 10 ملي ثانية ولذلك فهذه النوعية من المصهر يوضع عليها علامة لتحدد أنها تخص أشباه الموصلات ويعتمد أيضا علي أنواع قطع الدائرة الكهربية وهي التي تعمل بدون ملفات مغناطيسية لأنها تعمل علي أسلوب الوصل بين الموصلات - يوجد أيضا أنواعا من الحماية الإلكترونية باستخدام كاشف تيار فتفصل التيار بدائرة بوابة عند عبور القيمة المرجعية فيتوقف التيار عن المرور في الثايريستور ولكن هذا يستهلك وقت الدورة الذبذبية حتى لحظة المرور الصفري (الشكل رقم 7- 18).



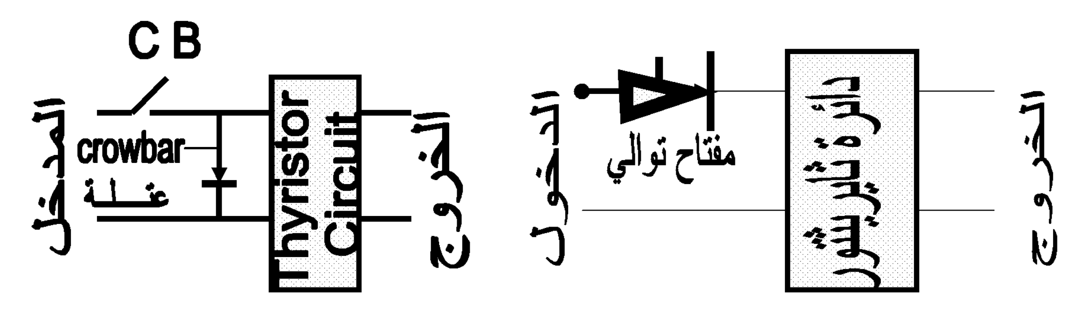
الشكل رقم 7-18 : حماية إلكترونية للتيار

يوجد أيضا طرز الوقاية الأخري والمسماة المفتاح الاستاتيكي Static Switch ومنه نوعان الأول مفتاح التوالي (الشكل رقم 7-19(أ)) وهو عبارة عن ثايروستور موصلا علي التوالي في الدائرة ويقوم بفصل التيار إذا تجاوز التيار القيمة المرجعية بأسلوب الإخماد الجبري forced commutation للثايريستور ويلزم توصيل مصهر لحماية الثايريستور إذا ما فشل في أداء المهمة والثاني مفتاح التوازي والمسمى العتلة (crowbar) وهو ثايريستور كبير كما هو مبين في الشكل رقم 7–19(ب).

يضاف مع هذا الوقاية ضد معدل ارتفاع التيار حيث كثافة التيار بالقرب من البوابة تصل إلي قيمة مرتفعة قد تصل بالانصهار الجزئي في السليكون مما يزيد من التيار المار إلي الثايرستور فيرفع درجة حرارته وهو ما سيؤول إلي الانهيار في الخصائص كما يمكن الاعتماد علي إشارات تيار إشعال قوية في دائرة البوابة مما يساعد فعلا في تحسن معدل الارتفاع للتيار.

(ج) وقاية زيادة الحمل Over Load

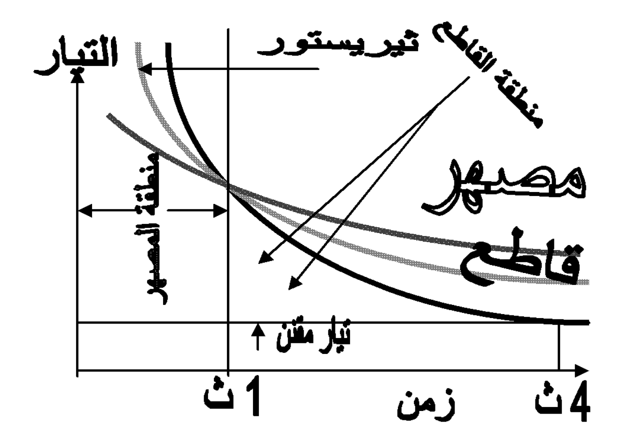
تعتبر هذه الوقاية من أهم أنواع الوقاية خصوصا وأن النبائط (أشباه الموصلات) تتأثر بشكل مباشر بزيادة درجة الحرارة عن النطاق المحدد للتشغيل ويبين الشكل رقم 7-20 الفروق الأساسية في التعامل مع القاطع والمصهر والثايريستور في حماية الدوائر الإلكترونية ومن ثم يظهر مجال عمل المصهر في البداية (0.01–1 ث) بجلاء ثم القاطع (1 ث–4 س) ويقترب بذلك من خصائص الثايريستور.



(ب) مفتاح التوازي (العتلة) (أ) مفتاح التوالي (المجبر)

الشكل رقم 7- 19 : المفتاح الاستاتيكي

(د) وقاية ضد إشارات التداخل Noise Signal Protection

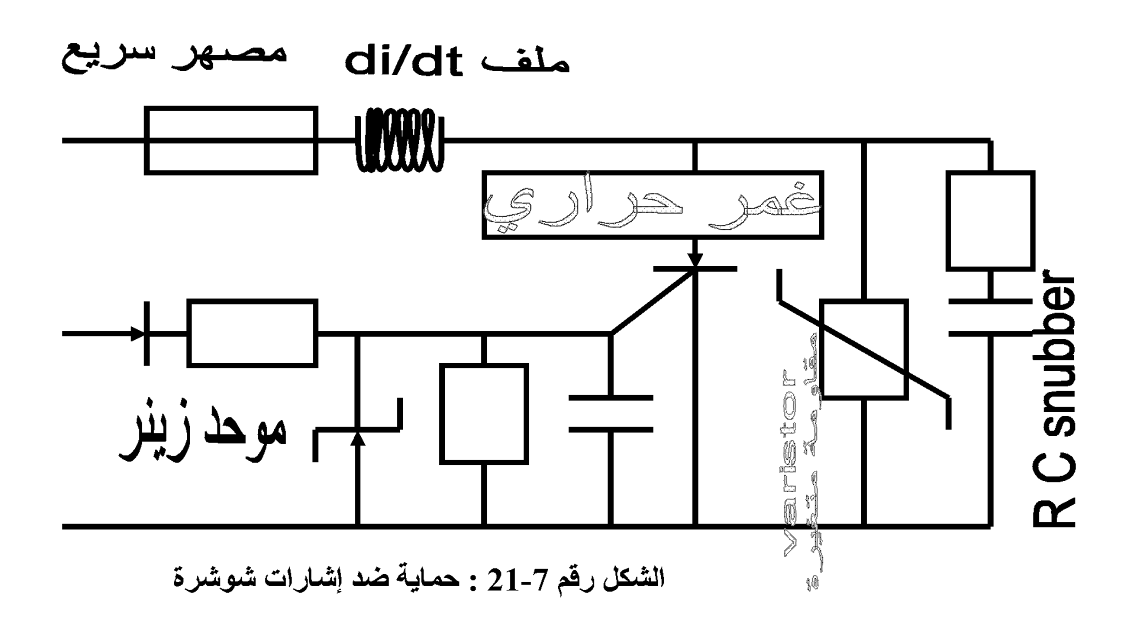


الشكل رقم 7-20 : خصائص أدوات الفصل

تعمل هذه الوقاية علي نقاء الموجات تحت القياس والقيمة المرجعية ومنع أي تداخل في الإشارات معها ولذلك نري في الشكل رقم 7-21 الدائرة الأساسية لمفهوم الوقاية من الإشارات لدائرة الثايريستور وهو من أهم الأجزاء في دوائر الوقاية بالدوائر الرقمية والاستاتيكية لأن زيادة مستوى إشارات الشوشرة في الثايريستور يقود إلي الخلل في نتائج العمل فيعطي خطأ أكبر في الناتج.

(هـ) وقاية ضد ارتفاع درجة الحرارة Temperature Rise

من أفضل السبل لوقاية الدوائر الإلكترونية تظهر الوقاية الحرارية بدرجة الحرارة لأن أشباه الموصلات تعتمد علي النقل الدائم للحرارة إلي الأجزاء المتجاورة والمتلامسة أي تسرب الحرارة **Heat Sink** وقد يتم ذلك بمسار حراري واحد أو أكثر حسب القدرات أو أن يصبح التبريد سطحيا وهو الأكثر شيوعا في التطبيقات لرخص ثمنه وأحيانا يستعان بوسط مثل الزيت أو غيره لنقل الحرارة أو بالتبريد الجبري باستخدام المراوح كما هو الإتجاه الحديث في تبريد المشغلات الدقيقة ذات السرعات الفائقة.



الشكل رقم 7-21 : حماية ضد إشارات شوشرة

و) وقاية ضد تسرب التيار إلي الأرض Earth Leakage

يعتبر هذا النوع من الوقاية من أهم أساليب الوقاية التي تحمي المتعاملين مع المعدات الكهربية سوا المعدات الكهربائية أو الصناعية أو تلك المنزلية مثل الثلاجة والتليفزيون والخلاط والمكنسة وغيرهم، وقد ساعد كثير في الحفاظ علي مستوى التسرب الأرضي تحت الحدود المحددة مسبقا ويضبط عليها هذا المتمم

4-7: أستخدام المصهرات للوقاية Fuses

تأتي فكرة إستخدام المصهر في الدوائر الكهربائية من الظاهرة الطبيعية لمرور التيار الكهربائي في موصل ما، فهذا الموصل له مقنن وهو ما يعني مرور هذا التيار المقنن عند الجهد المقنن بصورة مستمرة دون إنقطاع. ذلك أن الموصل يتحمل التيار المقنن لمدة زمنية لا نهائية (تيار دائم زمنيا)، فهذا يوضح أن عزل الموصل الكهربائي أو قطر الموصل يتحملان القيمة المقننة إذا ما مر فيه هذا التيار. أما إذا ما زاد التيار عن الحد المقنن ندخل في المنطقة التالية وهي منطقة تجاوز الحمل، ففيها يكون التيار أعلي وبالتالي تأثيره أكبر وهو ما يتحول إلي طاقة حرارية. هذه الطاقة الحرارية الزائدة لا يمكنها الإنتقال إلي الخارج مثل القيمة المقننة وبالتالي تتراكم في الموصل مسببة إرتفاعا في درجة الحرارة وكلما زادت المدة الزمنية للتحميل التياري يزيد هذا التراكم الحراري فيؤدي إلي إنهيار العزل الكهربائي لإرتفاع الحرارة فيه، حيث تقل كفاءة العزل بشدة. من هنا يتم وضع الحماية اللزمة لتحديد المدة المسموحة لمرور هذا التيار وهو ما يعرف بأسم الحماية ضد تجاوز الحمل.

من الناحية الأخري ماذا سيحدث إذا لم نضع هذه الحماية حيث نذهب إلي التراكم المستمر والذي يسبب فيه التيار إنهيارا كهربائيا للعزل وذلك مثل حالات التحميل فوق المعتاد للكابلات. أما إذا ما كانت الموصلات التي يمر بها التيار العالي فوق المقنن دون عزل كهربائي من الأساس فان التيار سوف يرفع من درجة حرارة الموصل، ويستمر الإرتفاع الحراري بصورة مستمرة إلي أن نصل إلي النقطة التي عندها يتحول المعدن الموصل إلي حالة الإنصهار. عندئذ يكون الموصل في الحالة السائلة فيزيقيا، وإذا كان عليه شدا ميكانيكيا كما هي العادة ينقطع بسرعة، أي يتوقف التيار من المرور. اما إذا كان السلك بدون شد سوف يستمر التيار لفترة وجيزة حتي تنصهر أضعف نقطة داخل الموصل ذاته فتنقطع وبالتالي يتوقف التيار.

هكذا نجد أن فكرة المصهر تأتي من إنصهار الموصل أي أن كل قطر من الأسلاك والموصلات له مقنن خاص به (قيمة التيار المقنن)، أي كل قطر له نقطة إنصهار. من هذه الناحية نجد أن أي موصل له تياران مقننان:

1- مقنن التيار المار به بصورة مستديمة Nominal Current

يعني أن التيار الدائم مروره هو ذلك التيار الذي يعمل عند الموصل بكفاءة كاملة

2- مقنن تيار لإنصهاره عند زمن محدد Melting Current

أنه ذلك التيار الذي لا يسمح بمرور لتيار تالي.

لهذا يمكننا بدلا من أن نترك الموصل ينصهر بكاملة أو جزئيا مؤديا إلي الحاجة إلي تغييره، بأن نقوم بترك هذا التيار يمر بالموصل العادي ونضع عند بدايته (دخول التيار) موصلا آخر ينصهر إذا ما وصلت قيمة التيار الكهربي إلي هذه القيمة الخطرة سواء علي الموصل (الكابل) أو علي الأجهزة العاملة عليه. وهذا هو ما يعرف باسم المصهر.

من هذا المنطلق نجد أننا في حاجة إلي التعرف علي أداء هذا المصهر بشكل مركز، ومن ثم نضع بعضا من النقاط الرئيسية لفهم هذا الأداء. ننتقل إلي أهم الأجزاء الأساسية للمصهر والمعاملات المؤثرة في الأداء وهي:

أولا: المكونات Components

يصنع المصهر بقيم متعددة ولكنها مقننه حتى يتم توحيد التعامل معها في تصميم الشبكات الكهربائية كما نراها ممثله في الجدول رقم 7-4 علي سبيل المثال لبعض حالات الدوائر الفرعية في شبكات التوزيع المنفصلة عادة، حيث يرد بعضا لمقننات المصهر وخاصة تلك المستخدمة في وقاية محولات التوزيع سواء في القرى أو المدن بجانب بعضا من المقننات الشائعة في التداول في وسط الاستهلاك عند مستخدمي الطاقة الكهربائية عموما .

جدول رقم 7-4: التيارات المقننة للمصهر علي الجهدين 11 و 0.4 ك. ف

قدرة المحول 0.4/11 ك. ف. (ك ف ا)	مقنن مصهر الجهد العالي للمحولات		مصهر 11 ك. ف.	مصهر 380 ف
	اقل مقنن (أ)	اكبر مقنن (أ)	مقنن (أ)	مقنن (أ)
50	16	16	16	80
100	25	40	25	125
200	40	63	25	160
250	40	63	40	200
400	63	100	63	250
500	63	100	100	400
630	63	160	100	500
800	100	200	125	630
1000	100	200	160	800
			200	1000

تشمل المكونات تلك الأجزاء الرئيسية الداخلة في تركيب المصهر ومن أهمها:

أ) المنصهرة Fuse

يمكننا القول بأن هذا الجزء هو ذلك الموصل بالقطر الصغير والذي يجب أن ينصهر عند وصول التيار إلي القيمة المحددة مسبقا. كما أن هذا يعتمد علي نوع المعدن للموصل وعلي الوسط المحيط به وهو اللازم لنقل الطاقة الحرارية من عدمه.

ب) القاعدة Base

أنها المكان المخصص لتركيب الأطراف والمنصهرة

ج) أطراف التوصيل Terminals

تعتبر أطراف التوصيل من أهم الأجزاء بعد المنصهرة لأنها تدخل في الدائرة الكهربائية علي التوالي وبالتالي لا بد وأن تكون مثبتة تماما علي القاعدة بالإضافة إلي سلامة الأطراف من حيث كفاءة التوصيل مع نهايات المنصهرة.

د) الأجزاء المساعدة Auxiliary Elements

تشمل الكثير من الأجزاء التي تساعد علي التركيب بصورة عامة وتثبيت المصهر بشكل جيد وملاءمة التغيير بعد القطع التياري. أنها تشمل المبينات الإرشادية وكذلك وسائل التحذير بجانب وسائل الاستبدال وغيرها.

ثانيا: معامل الإنصهار Melting Coefficient

ذلك المعامل هو المحدد لكفاءة عمل المصهر وهو يأخذ الصيغة الرياضية:

$$\text{معامل الإنصهار} = \frac{\text{أصغر قيمة لتيار الصهر}}{\text{التيار المقنن للدائرة}} \qquad (7\text{-}7)$$

في هذه المعادلة نأخذ أصغر قيم التيار في خصائص المصهر كما سبق الشرح والتوضيح من قبل في هذا الكتيب، حيث يكون هناك منحني للقيمة الأصلية وآخر للقيمة الدنيا وبالتالي نأخذ القيمة المواكبة للتيار علي المنحني الأدني. كما أننا نلاحظ أن هذه القيمة لا بد وأن تزيد عن الواحد الصحيح.

ثالثا: زمن الفصل Tripping Time

هكذا نجد أن هذه القيمة للتيار الأدني تتزامن مع قيمة للفصل زمنيا، أي أن زمن الفصل يرتبط إرتباطا لصيقا بقيمة تيار الصهر (تيار القصر). لهذا نجد أن هذا الزمن يتكون من جزأين هما:

الزمن الأول: زمن الصهر Melting Time

يتمثل ذلك في زمن أولي بدءا من الإحساس بمرور تيار الصهر إلي أن يبدأ الإنصهار للمنصهرة داخل المصهر. حيث يبدأ الإنصهار بتكون قوس كهربائي يحتاج إلي ميكانيكية وآلية لقطع القوس الكهربائي، إن هذا الزمن عمليا وفي أغلب الأوقات يكون علي مدار الدورة الواحدة أي ما يقرب من 0.02 ثانية. علاوة علي أن زمن الصهر قد يتراوح بين 1 و 2 ثانية حسب الأحوال، لأنه يعتمد علي عدة عوامل.

الزمن الثاني: زمن القطع Interruption Time

انه ذلك الزمن اللازم حتي يختفي القوس الكهربائي وهو المتكون بين طرفي المصهر (بين طرفي السلك المنصهرة). هذه العملية يمكن التعبير عنها بالمعادلة:

$$\text{زمن الفصل} = \text{زمن الصهر} + \text{زمن القطع الشراري} \qquad (7\text{-}8)$$

رابعا: الكمية الحرارية Heat Quantity

كما سبق الإشارة إلي أن زمن عملية الصهر بمقدار t بالثانية، يعتمد بالدرجة الأولي علي نوعية المعدن (يكون له ثابت مقداره C للمنصهرة) وقطره (خصائص القطر)، حيث أنه قد تكون هناك نقاط نقاط بقطر أصغر نتيجة التصنيع أو غيره من الأحوال فتكون هذه النقاط الأقل قطرا (الأضعف وبمساحة مقطع A سم2) البادئة في الإنصهار. كما يمكننا الحصول علي هذه العلاقة المميزة في الصيغة الرياضية:

$$I^2 \times t = C \times A^2 \quad (7-9)$$

حيث أن ثابت معدن الفضة يساوي (7×10^8) وللنحاس يعادل (1×10^9)

خامسا: تيار القطع Cut Off Current

إن كمية الحرارة W الناتجة عن القطع تتحدد بالمعادلة:

$$I^2 \times t = C \times A^2 = W \quad (7-10)$$

من هذه المعادلة نحصل علي تيار القطع I_c بالقيمة:

$$I_c = 11 \; {}^3\sqrt{(W \; I_p)} \quad (7-11)$$

حيث أن تيار القصر المحتمل Prospective بالقيمة I_p المنتجة تحدد القيمة الفعالة Effective لتيار القصر المتوقع anticipated.

بالرغم من التعرض مسبقا لموضوع المصهرات إلا أن المصهر يلعب دورا رئيسيا في حماية دوائر التحكم وأيضا دوائر الوقاية وتظهر أهميته البالغة مع الدوائر المطبوعة والإلكترونية عموما ومن ثم نحتاج إلي التعامل مع المصهر من الوجهة التقنية من أجل التعرف علي خصائص الفصل الخاصة به وبالتالي نتطيع إختيار المصهر المناسب لدائرة محددة. علي الجانب الآخر يصنع وينتج المصهر بقيم متعددة ولكنها مقننه حتى يتم توحيد التعامل معها في تصميم الشبكات الكهربائية كما نراها ممثله في الجدول رقم 7-4 حيث يرد بعضا لمقننات المصهر وخاصة المستخدمة في وقاية محولات التوزيع سواء في القرى أو المدن بجانب بعضا من المقننات الشائعة في التداول في وسط الاستهلاك عند مستخدمي الطاقة الكهربائية عموما.

سادسا: أنواع المصهرات Types

من ناحية أخري يلزم التأكيد علي ضرورة وضع الشروط الإضافية لتشغيل ووضع مصهر للوقاية لأحد المكثفات ضمن مجموعة من المكثفات تجنبا لأضرار التيارات السعوية المتوالدة خصوصا عند حدوث القصر.
أما من جهة تقسيم المصهر بناءا علي أسلوب قطع التيار أثناء القصر فيمكن أن يتنوع في ثلاث طرق هي:

الطريقة الأولي: غير محدد لقيمه تيار القطع Non Limiting Value

إنها الطريقة التي تعتمد علي قطع التيار مع حركه ارتفاع قيمته بالشكل الموجي للتيار المتغير وتصل فيه القيمة إلي الذروة وتنطوي علي عددا من الأشكال مثل:

1- مصهر الطرد Expulsion Fuses

في هذا النوع ترتفع درجه الحرارة داخل المصهر فتعمل علي تبخره المكونات المحيطة بالسلك المنقطع (المنصهر) فتتوالد الغازات بسرعة وبكميات كبيره نسبيا فتزيد من الضغط في مكان الشرارة فتساعد علي سرعة إطفاء الشرارة وتتجمع هذه الغازات بالداخل ويلزم إخراجها من المكان المخصص اعلي المصهر ولذلك لا يوصي بالاستعانة بمثل هذه النوعية داخل الأبنية أو في المدارس ورياض الأطفال ولكن يصلح هذا النوع للمحولات الخارجية التي عاده تحمل فوق الأعمدة الهوائية مثل ما هو موجود في القرى والأماكن الريفية وكذلك الخطوط الكهربائية.

2- المصهر المفرغ Vacuum Fuses

تتميز بأنها مغلقه تماما وتمنع تواجد الشرارة أثناء القصر نتيجة انعدام الضغط داخل المصهر وهي نوعيه مغلقه تماما للحفاظ علي التخلخل وتتميز بأنها صغيره الحجم وغير مزعجه ونظيفة ويمكن الاعتماد عليها داخل الأبنية عموما.
كما يتم وضع تصنيفا آخر لأهم المصهرات من حيث الحجم بالشكل كالتالي:

1- مصهرات إنفجارية Explosive Fuses

هي ذلك الطراز الذي ينفجر عند مرور التيار الصهري في الدائرة مما يلزم معه التغيير المباشر للمصهر.

2- مصهرات قدرة Power Fuses

يمكن أن تأخذ شكل القاطع المغمور بالزيت كما أنه يوجد منها مصهرات قدرة عادية أو مصهرات عالية قدرة القطع

3- مصهرات مسحوقية Powder Fuses

لها فعالية مرتفعة وهي واسعة الإنتشار

4- مصهرات سائلية Liquid Fuses

أنها تشمل عددا متنوعا مثل مصهرات زيتية أو حمضية

5- مصهرات نصف مغلقة Semi Closed Fuses

يسخدم هذا النوع عادة في شبكات التوزيع الكهربائية وعادة يكون معامل الإنصهار فيها مساويا 1.75 ولا يجوز التعامل مع مصهرات لها معامل إنصهار أقل من 1.25

6- مصهرات منمنمة Miniature Fuses

أصبح هذا النوع الأكثر إستخداما في كافة المجالات وعلي الخصوص في الشبكات الكهربائية المنزلية والصناعية وأيضا في شبكات التوزيع الداخلي.

من الناحية الأخري تنقسم المصهرات عموما إلي مستويين:

أ) المستوي الأول

يتمتع هذا المستوي بالشروط الآتية:

1- مستوي عزل المصهر يساوي مستوي عزل الدائرة والسكاكين بها
2- قدرة القطع أعلي من المستوي الثاني
3- مستوي التيارات المقننة أعلي من المستوي الثاني

ب) المستوي الثاني

من خصائص هذا المستوي:

1- مستوي عزل المصهر أقل من مستوي عزل الدائرة والسكاكين بها
2- إمكانية التعامل مع مصهرات قابلة للإحلال أو التغيير Replaceable

الطريقة الثانية: محدده لقيمه تيار القطع *Current Limiting Type*

تعرف هذه الطريقة بأنها الأفضل استخداما وتعمل علي نطاق واسع وبكفاءة عالية ومنها تلك المصهرات عالية قدره القطع والمعروفة وقد سبق بيانها في هذا الباب وفيها يتم الفصل الكهربائي قبل الوصول إلي القيمة القصوى للتيار ولذلك تكون سريعة الفصل.

الطريقة الثالثة: التحكم الآلي للفصل الكهربائي
Controlled Type for Cut Off Current

في هذه النوعية يتم التحكم في مقننات الحركة والفصل التي تخص الدائرة المعينة وقد ظهرت مؤخرا نتيجة التقدم التكنولوجي علي الساحة التطبيقية وهي التي تعرف بالمصهر الإلكتروني power electronic fuses وتتكون من جهازين هما:

1- جهاز التحكم الزمني

يشمل ذلك الدوائر الخاصة بالتحكم في زمن الفصل التي تعتمد علي قيمه تيار القصر وخصوصا في الدوائر الإلكترونية من هنا يمكننا أن نضع المصهرات زمنيا في نوعين:

أ) مصهرات سريعة الفصل Quick Fuses

هذا النوع يقوم بالفصل بمجرد حدوث التيار المصهر وقبل أن نصل إلي القيمة القصوي للتيار الجيبي، أي أقل من نصف دورة ذبذبية. يندرج ضمن هذا الصنف المصهرات المسحوقية مثل برداة الفضة. هذا يعني أن زمن الصهر يصل إلي 10 ملي ثانية ويضاف إلي زمن القطع والذي قد يكون مساويا له أي أن الزمن الكلي للفصل يصل إلي 20 ملي ثانية أو أقل. هذه النوعية من المصهرات تعرف أيضا بالمصهرات المحدة من التيار.

ب) مصهرات بطيئة الفصل Lag Fuses

إن ذلك الطراز هو الذي يتم فيه التصميم علي أن يتحمل فيه الإنتقال الحراري للتيار المصهر وقتا أكبر ويستمر لمدة فوق الدورة أو الدورتين من الذبذبة، كما يشمل هذا النوع المصهرات السائلة وتلك الإنفجارية. كما أن هذه النوعية من المصهرات تعرف بالمصهرات غير المحدة من التيار لأنها تتأخر في زمن الفصل.

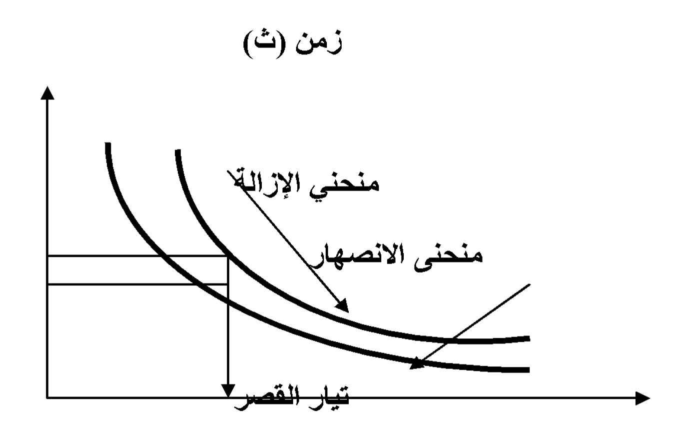
2- جهاز التحكم لتيار الفصل Current Control

يعتمد علي الدوائر التكاملية والمعروفة بالدوائر المنطقية logic circuits ويمكن تغذيتها من خلال محولات التيار ويتمكن هذا النوع من الفصل الفوري او الفصل المتأخر إلا انه معيب باحتراق جهاز الفصل مع كل قصر مما يستلزم تغييره بآخر جديد.

ثانيا: خصائص الأداء والاختبار Performance & Testing

بعد الاستعراض السريع لأنواع المصهر نحتاج إلي التعامل مع مبدأ الصيانة وهي في الحقيقة مهمة صعبة إذا ما قورنت مع القواطع الكهربائية ويضع الجدول رقم 7-5 بيانا موجزا عن أهم الفروق الجوهرية بين المصهر والقاطع كي يفيد في مفهوم الصيانة للمصهر.

تتحدد خصائص الأداء لكل مصهر تبعا لنوعيه مكوناته ونظريه لكل مجموعه من المصهرات وهي منحنيات تبين العلاقة بين زمن وقدره الفصل فتشمل بداخلها المقنن القياسي لتيار المصهر خصوصا وكما نري في الشكل رقم 7-22 اثنين من المنحنيات لكل مصهر أولهما يخص انصهار المصهر والثاني يحدد زمن الفصل النهائي ويعرف الاول بمنحنى الانصهار بينما الثاني يسمي منحني الإزالة cut off وفي الحقيقة هذا المنحني يبين بصوره اوضح ذلك الزمن الخاص بالشرارة والانصهار محددا زمن الفصل (الشكل رقم 7- 22).



الشكل رقم 7-22: خصائص الفصل للمصهر

يبين الجدول أن التباين كبيرا بينهما مما يدعونا إلي الاعتماد علي مبدأ الاختبار لوسيلة لصيانة المصهر وبهذا نتولى خصائص المصهر علي محوري التشغيل والاختبار من خلال السطور القادمة.

جدول رقم 7-5: الفروق الجوهرية بين المصهر والقاطع الكهربائي

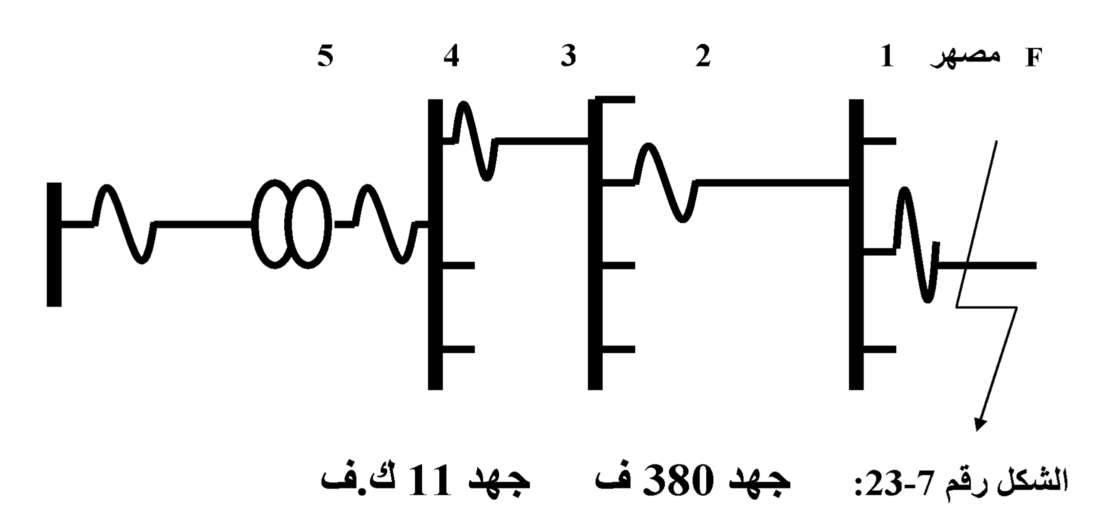
م	البيان	صفات المصهر	خصائص القاطع
1	الأداء	يكشف العيب ويفصله	يقوم بالفصل فقط دون تحديد العيب
2	مبدأ الفصل	حراري	بناء علي أمر منظومة الوقاية
3	زمن الفصل	صغير جدا (2 ملي ث)	كبير نوعا (100-200 ملي ث)
4	قدرة القطع	صغيرة	كبير جدا
5	طريقة العمل	آلية	بناء علي أمر ملف الفصل
6	عمر التشغيل	يهلك بعد كل فصل	عمر طويل
7	التغيير	بعد كل فصل تلقائي	يتغير غالبا جزئيا بعد 2000 فصل تلقائي
8	الحجم	صغير جدا	كبير نوعا ما

المحور الأول: خصائص التشغيل Operating Performance

تمثل هذه النقطة أهم الصفات المميزة للتعامل مع المصهر في الدوائر الكهربائية بشكل عام علي النحو المحدد فيما بعد.

1- مستوى الحساسية Sensitivity Class

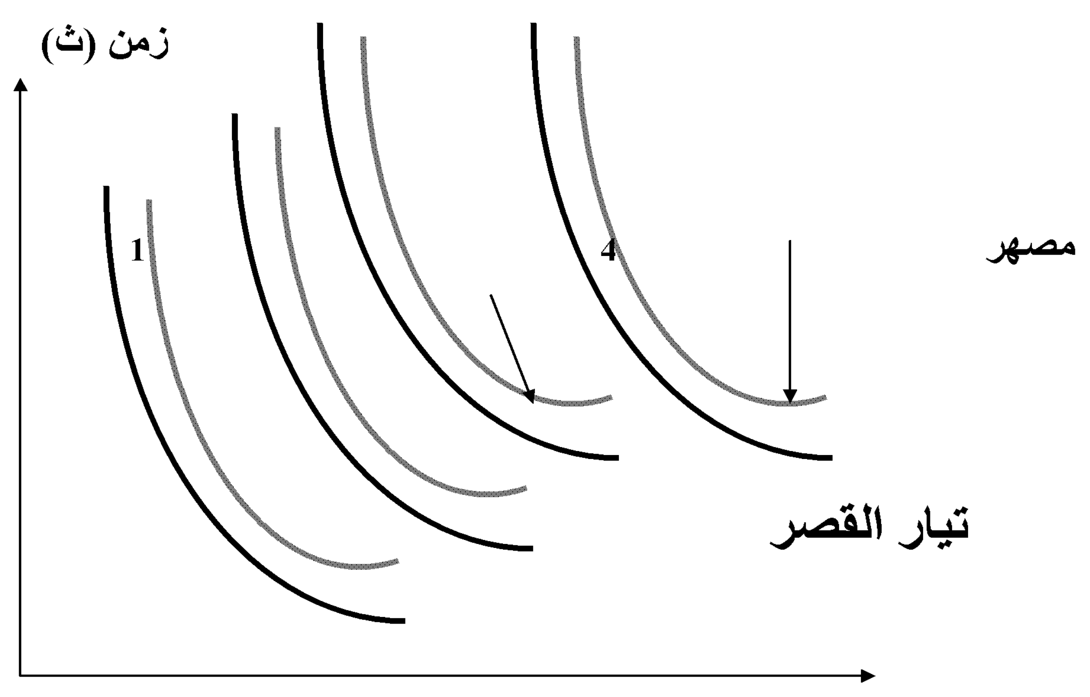
هو من أول المعاملات حيث أنه يعتمد علي معامل الانصهار والمميز بجلاء عن حساسية المصهر بوجود عيب حقيقي ولذلك يوضع هذا العنوان كمبدأ لتقسيم مستويات الحساسية للمصهر وهم ثلاث مستويات ففي الأول يكون معامل الانصهار أقل من 1.25 بينما في الثاني يزيد عن ذلك وحتى 1.75 أما الأخير ففوق هذه القيمة.
إضافة إلي التغير المطلوب نتيجة مرور تيار القصر في المصهر فتظهر العلاقة بين تيار القصر وزمن فصله ويتم بأسلوب التمييز الاختياري للمصهرات المتتالية في شبكه ما كما نراها في الشكل رقم 7- 23 فنجد أن الخواص الفصلية للمصهرات لابد وان تكون في شكل متتالي حتى لا يسبق مصهر ذلك الذي قبله في الفصل ويتمك تحميله بكل فصل وهذه عمليه جوهرية عند التصميم بينما قد يكون التصميم صحيحا ولكن مهندسي التشغيل أو الصيانة هو المخطئ في اختيار المصهر ويتم تركيبه خطأ.



الشكل رقم 7-23: جهد 380 ف جهد 11 ك.ف

2- مدى الفصل Tripping Margin

كما وجدنا من قبل أن العلاقة بين تيار القصر وزمن الفصل عبارة عن علاقة عكسية (الشكل رقم 7-24) إلا أننا نتعرض لأهم نقطة وهي دقة الفصل أو دقة الإحساس واحتمال الفصل وبذلك يظهر منحني لأقصى وضع فصل محتمل وكذلك آخر لأدنى فصل ممكن وتقع بينما نقاط العمل الفعلية للفصل (الشكل رقم 7-22) وأصبح المنحنى اثنين ويتم الفصل تبعا للظروف والاحتمالات.



الشكل رقم 7-24: خصائص تنسيق الفصل للمصهر في شبكة كهربية

3- التنسيق بين المصهرات Fuse Coordination

تظهر في شبكات التوزيع الكهربائية خصوصا الحاجة إلي التنسيق بين فصل المصهرات المتواجدة في الدائرة فنرى في الشكل رقم 7-23 شبكة توزيع كهربائية فيها المصهر كوقاية أساسية ومحدد علي الرسم مكانا لقصر فيجب أن تكون الخصائص كما نشاهدها في الشكل رقم 7-24 متتالية كي يفصل الخطأ عن طريق أقرب مصهر له ويليه التالي وهكذا.
أما عن إطالة عمر تشغيل المصهر فيلزم الآتي:

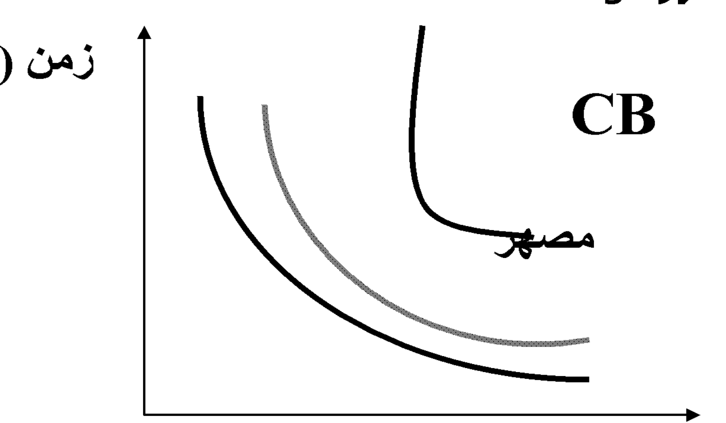
1- تحميل المصهر دون تجاوز القيمة المقننة للتيار.
2- عدم تعرض المصهر لجهود اعلي من المقننة.
3 - عدم استخدام مصهر بمقننات اعلي من المطلوب لان ذلك يعرض المعدات تحت الحماية للخطر.
4- يلزم التعامل مع دوائر المحركات لحمايتها بالمصهر تبعا للمقننات المحددة لكل مصهر.
5- يمنع استخدام مصهرات علي التوازي.

اختصارا للوقت والمجهود الهندسي عند التعامل مع شبكات التوزيع المحورية وحتى لا تعاد الحسابات اكثر من مرة فقد وضعت جداول قياسية للنسبة الاختيارية عند المفاضلة بين المصهرات المتتالية في الشبكة كما سبق الإيضاح ويقدم الجدول رقم 7 - 6 النسبة الاختيارية selectivity ratio للمصهرات القياسية تأكيدا علي أن الاختيار صحيحا. جدير بالذكر بأنه يتم تقسيم المصهرات الي مستويات متتالية في الخواص تبعا لكل صانع ولذلك لم نعطي الرموز الشائعة لهذه المستويات بل استخدمنا الترقيم المتسلسل كي تبين لنا العلاقة المباشرة بين نسبه الاختيار في شبكات التوزيع الكهربائية.

جدول رقم 7- 6: النسبة الاختيارية للمصهرات بين جهتي التغذية والأحمال (المقنن بالامبير)

مستوي	(1)	تاخير زمني(2)	تاخير زمني محدد لتيار(4)		(2)	(3)	تاخير زمني(6)	
تيار مقنن (ا)	600 –0	600-15	600-0	0-600	600-0	600 -0	601-6000	601-6000
(6) تاخيرزمني 601-6000	-	1 : 3	1 : 3	1 : 4	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 2
(6) 601- 6000	-	1 : 5	1 : 5	1 : 6	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 2
(3) 0 –600	1: 4	1 : 4	1 : 4	1 : 8	1 : 3	1 : 3		
(2) 0 –600	1 : 4	1 : 4	1 : 4	1 : 8	1 : 3	1 : 3		
(4) تاخير زمني 0-600	1 :1,5	1 :1,5	1 :1,5	1 : 2	1 :1,5	1 :1,5		
(4) تاخير زمني محدد التيار 0-600	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 4	1 :1,5	1 :1,5		
(2) تاخير زمني 15-600	1 : 2	1 : 2	1 : 2	1 : 4	1 :1,5	1 :1,5		

4- عمر تشغيل المصهر Fuse Age



الشكل رقم 7-25: التنسيق بين القاطع والمصهر

يهمنا دائما بصورة جوهرية العمل علي إطالة عمر تشغيل المصهر ومن ثم يلزم الآتي:

1- تحميل المصهر دون تجاوز القيمة المقننة للتيار

2- عدم تعرض المصهر لجهود اعلي من المقننة

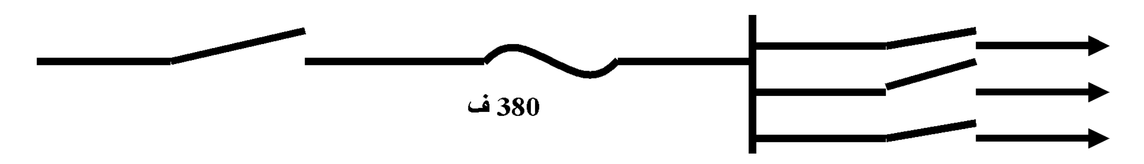
3 - عدم استخدام مصهر بمقننات اعلي من المطلوب لان ذلك يعرض المعدات تحت الحماية للخطر

4- يلزم حمايه مع دوائر المحركات بالمصهر تبعا للمقننات المحددة لكل مصهر

5- يمنع استخدام مصهرات علي التوازي

5- التنسيق بين المصهر والقواطع Coordination with Breakers

إذا تواجد قاطع كهربائي بين المصهرات أو العكس وجب الاعتماد علي التمييز الحاد بين القاطع والمصهر كما نراها في الشكل رقم 7-25 وفيه يفصل المصهر قبل القاطع حيث يكون القاطع للدائرة الرئيسية والمصهر للدائرة الفرعية وهذا القاطع من النوع محدد التيار والزمن، وكثيرا ما تتم حماية القاطع ذاته بالمصهر وهي الدائرة المبينة في الشكل رقم 7-26 حيث نجد المصهر واقيا للمفاتيح الفرعية علي الدوائر الفرعية وهنا يجب أن يفصل القاطع أولا ثم المصهر.



الشكل 7-26: المصهر لحماية القاطع

6- متطلبات الأداء Requirements

يتضمن الأداء حسن التعامل والعمل بحيث نصل بالدائرة الكهربائية إلي أعلي مستويات الأداء بشكل عام وفي هذا الإطار نحتاج إلي التركيز علي أهم النقاط التي تساهم إلي حد كبير في هذا الأداء مثل:

1- يجب إختيار المصهر بأداء مميز ضد أستعادة الجهد بعد الفصل
2- يلزم الأداء السريع للفصل
3- يجب رفع درجة الإعتمادية إلي أقصي درجة
4- العمل عل حماية الأجهزة المحيطة من القدرة الحرارية الناتجة عن الفصل
5- درجة حرارة الجو المحيط لا تزيد عن 40°م كما أن قيمتها المتوسط لا تتجاوز 35°م علي مدار الأربع وعشرين ساعة.
6- أقل درجة حرارة تمثل – 25°م
7- درجة حرارة الأجزاء المعرضة لأشعة الشمس لا تربو عن 80°م
8- جميع الخصائص الخاصة بالمصهرات تعطي القراءات عند 20°م ومن ثم يجب عمل التعديل المناسب لتغير درجة الحرارة
9- الهواء الميط يجب أن يكون نظيفا خاليا من الأتربة والدخان والغازات القابلة للإشتعال والأبخرة الملحية.
10- ضغط سرعة الرياح لا يتجاوز 700 نيوتن / متر مربع في التركيبات الخارجية.
11- الإرتفاع المقنن المسموح به 1 كم لكل البيانات المقننة ومن ثم عند الارتفاع الأعلي عن الحد يلزم تعديل المقننات بمعامل التصحيح نتيجة إرتفاع مستوي المصهر فوق سطح البحر والمحدد في الجدول رقم 7 - 7 والمقترن بالمرجع للقراءات المقننة الأصلية.
12- بالإضافة إلي النقاط السابقة هناك شروطا للتمييز المتتالي في الشبكات الشعاعية ومن أهمها نجد أنه يجب ألا يقل مقنن المصهر الرئيسي عن ضعف مقنن الدوائر الفرعية.

الجدول رقم 7 - 7: معامل التصحيح لزيادة الإرتفاع مستوي المصهر فوق سطح البحر

أقصي إرتفاع كم	معامل جهد الإختبار	معامل مقنن الجهد	معامل مقنن التيار	معامل مقنن درجة الحرارة
1	1	1	1	1
1.5	1.05	0.95	0.99	0.98
1.9	1.11	0.91	0.98	0.95
3	1.25	0.80	0.96	0.92

5- مصهر الكابلات Cable Limiter

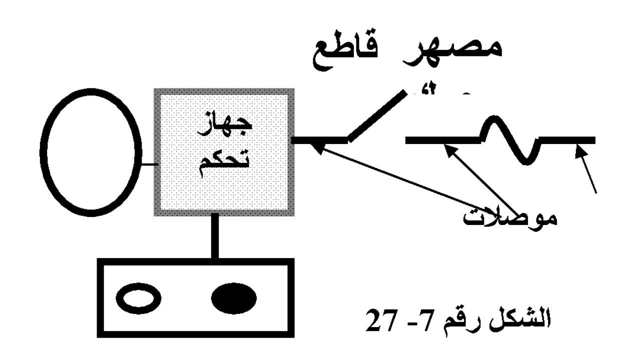
يضع الجدول رقم 7-8 بيانا بسعة المصهر المستخدم مع كابل في حالات مختلفة سواء كانت نوعيتها كابلات أرضية أو مسلحة أو أو معزولة بالثرمو بلاستيك داخل مواسير أم لا أو مطاطية العزل داخل مواسير والجدول يقدم النوعيات القياسية تبعا للمواصفات القياسية.

جدول رقم 7-8 : بيان بسعة المصهر عند وقاية الكابلات

مقطع الكابل (مم2)	كابلات مسلحة بالأرض أو موصلات معزولة بالثرمو بلاستيك بدون مواسير		موصلات عزل مطاطي داخل مواسير	
	أقصى حمل (أ)	سعة المصهر (أ)	أقصى حمل (أ)	سعة مصهر (أ)
1				
1.5	15	20	5	10
3	20	25	7	15
4	30	35	13	20
6	40	50	17	25
10	50	60	23	35
16	70	80	30	50
25	90	100	40	60
35	110	125	55	80
50	150	160	70	100
70	180	225	100	125
95	220	260		

7 – 5 : دوائر المحركات الفرعية Motor Branch Circuits

مما سبق تظهر أهمية دوائر المحركات لأنها تختلف عن دوائر الإضاءة أو التطبيقات الأخرى وهي تحتاج إلي عناية خاصة كي نصل إلي أقصى درجات الأمان وأعلي اعتمادية مع أقل حيود في هبوط الجهد علي المغذيات أو المحركات وبأقل فقد حراري ممكن وبأقل تكلفة تركيب مع البساطة والسهولة في التشغيل والصيانة والسماحية بالتطوير والامتداد مستقبلا. تعطي المواصفات أهمية خاصة لدوائر المحركات والتي تتكون من خمسة أجزاء رئيسية (الشكل رقم 7-27) كما تسمح أحيانا باستخدام قاطع واحد لأكثر من محرك وإجازة دمج وقايتي زيادة التيار وتجاوز الحمل،



الشكل رقم 7- 27

وهذه الأجزاء الخمسة نصفها فيما يلي. كما تتعرض المحركات الكهربائية بكافة أنواعها إلي عدد من العيوب (خارجية وداخلية) والتي سبق شرحها في الفصل السابق.

الجزء الأول: الموصلات Conductors

تضع المواصفات القياسية مقنن الموصلات في دوائر المحركات بنسبة 125 % من مقنن المحرك ذاته إذا كانت الدائرة مفردة المحرك ولكن عندما تصبح الدائرة الكهربية متعددة المحركات فيحسب بالصيغة:

مقنن الموصلات = 125 % × (مقنن أكبر محرك + مجموع تيارات جميع المحركات الأخرى) (7-12)

علاوة علي ذلك يجب الأخذ في الاعتبار تأثير كل من: (معاملات الفقد الحراري – زيادة المستوى الحراري - هبوط الجهد – معامل التغير الحراري) وهي معاملات قد تؤدي إلي زيادة مقنن الموصلات. أما بالنسبة للموصلات في دوائر محركات الضواغط المستخدمة في التبريد أو الثلاجات فنلجأ إلي فنلجأ إلي مقننات التيار الخاصة بالمحرك مباشرة بينما لباقي المحركات التأثيرية أحادية أو ثلاثية الطور فتعطي المواصفات الجدول رقم 7-9 وهو المحدد بياناته للجهد 380 ف أو 220 ف، 50 هيرتز.

جدول رقم 7-9 : مقننات المحركات التأثيرية لجهد 380 أو 220 ف والمصهر المقنن

قدرة (ك.ف)	التيار (أ)		بدء مباشر (6 أضعاف التيار لمدة 5 ث)				بادئ نجمة /دلتا	
			مقنن مصهر (أ)		مقطع موصل (مم2)		مقنن مصهر (أ)	
جهد (ف)	220	380	220	380	220	380	220	380
0.18	0.95	0.55	2	2	1.5	1.5		
0.25	1.28	0.74	2	2	1.5	1.5		
0.37	1.82	1.05	4	2	1.5	1.5		
0.55	2.6	1.48	4	4	1.5	1.5	4	2
0.8	3.6	2.7	6	4	1.5	1.5	4	4
1.1	4.7	3.6	10	6	1.5	1.5	6	4
1.5	6.2	5	10	6	1.5	1.5	6	4
2.2	8.7	6.7	16	10	2.5	1.5	10	6
3	11.6	8.7	20	10	4	1.5	16	10
4	15.1	12	25	16	6	2.5	16	10
5.5	21	16	35	20	10	4	25	16
7.5	28	23	50	25	16	6	35	20
11	40	31	63	35	25	10	50	25
15	53	44	80	50	35	16	63	35
22	76	59	100	63	50	25	80	50
30	100	74	125	80	50	35	125	80
38	130	95	160	100	70	50	160	80
50	165	120	200	125	95	50	200	125
63	200	150	260	160	120	70	225	125
80	255	190	300	200	150	95	300	160
100	325	300	400	225	240	120	350	200
160	515						500	300

الجزء الثاني: أجهزة الوقاية Protective Devices

تعمل هذه الأجهزة علي حماية المحرك وملحقاته والتي تتحدد بالأجزاء الرئيسية الأربعة الملحقة علي المحرك وتتضمن هذه الأجهزة المصهر أو القاطع سواء كان بزيادة التيار أو تجاوز الحمل وهو الأمر الخاضع للاختيار تبعا لمقنن المحرك وهذه الأجهزة لا بد وأن تتحمل تيارات البدء والتي تتجاوز إلي 6 أمثال المقنن ولمدة تقرب من 5 ث.
لذلك يجب أن يقنن المصهر علي 400 % للمحركات الكبيرة و300 % للمحركات الصغيرة مع زمن فصل متأخر لتلافي تأثير تيارات البدء، أما بالنسبة لمحركات الضواغط في دوائر التبريد بمقننات حتى 400 ك. ف. أ. فيكون مقنن المصهر 225 % فقط من الحمل الكامل، ولكن من الناحية الأخرى تنقسم هذه المحركات في التعامل داخل الدوائر الكهربية إلي نوعين كما في الشكل رقم 7-28.

هذه الحالة تفاضل عن حالتين فهي إما أن تشترك المحركات المتماثلة الصغيرة (كل منها 1 حصان) معا جميعا في دائرة واحدة بحماية موحدة كما في الشكل (أ) ويكون المقنن هو 15 أ لمقنن تيار 6 أ إجمالي للتيارات أو تشترك محركات متباينة الأحجام والقدرات ويكون لكل منها مصهر إضافة إلي مصهر عام للدائرة ككل (الشكل ب) وهنا لا يجب أن يزيد مقنن المصهر العمومي عن 4 أضعاف أصغر محرك في الدائرة كما يمكن الاستعانة بوقاية زيادة التيار.

الجزء الثالث: الضابط (المتحكم) Controller

يشتمل الضابط علي حماية تجاوز الحمل بالصفة الحرارية والتي عادة تظهر بتواجد الترتيب السالب للأوجه NPS نتيجة عدم اتزان الجهد لأنه يسبب فيضا معاكسا للأصلي فيعوق حركة الجزء الدوار في المحرك وهو ما يعني فرملة له ومن ثم زيادة التيار فتؤدي إلي السخونة ويمثل معامل الانحراف لقيمة الجهد المتزن معاملا مهما وهو

$$\text{معامل عدم اتزان الجهد} = \frac{\text{أقصى تغير عن المقنن}}{\text{الجهد المتوسط}} \qquad (7\text{-}13)$$

فمثلا تغير 5 ف لمقنن 220 ف يعادل 2.3 % وهو ما يزيد الحرارة بمعدل 10.3 % تبعا للصيغة

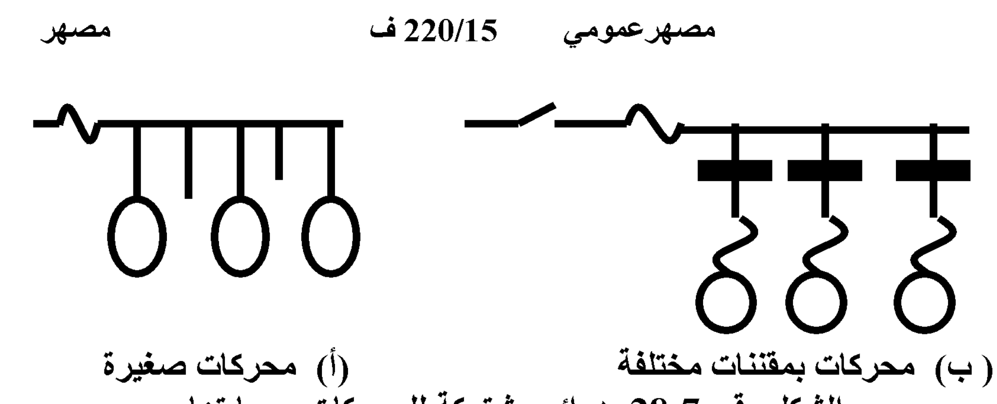
$$\text{الزيادة في الارتفاع الحراري} = \text{ضعف مربع معامل عدم اتزان الجهد} \qquad (7\text{-}14)$$

الجزء الرابع: أجهزة التحكم Remote Control Devices

يلزم ملاءمة هذا الجزء مع نوعية المحرك وخصائصه وهو إما أن يكون يدويا أو آليا.

الجزء الخامس: المفتاح Switch

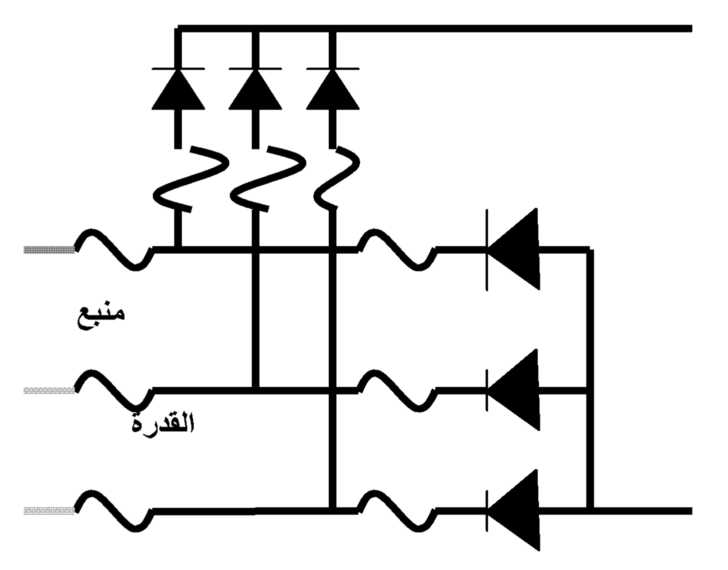
هو عبارة قاطع الدائرة عن بقية الشبكة ويقوم بفصل المحرك وملحقاته عن مصدر التغذية عند وجود قصر.



الشكل رقم 7-28: دوائر مشتركة للمحركات وحمايتها

المحور الثاني: خصائص الاختبار *Testing Performance*

يستخدم المصهر لوقاية الدوائر الإلكترونية أيضا كما لدوائر القوي وهو في هذه الحالة يحمي أشباه الموصلات (الشكل رقم 7-29) ويستعان به مع الدوائر الخاصة مثل محدد تيار الكابلات cable limiter حيث يظهر في الشكل رقم 7-30 مع تركيب الكابلات علي التوازي parallel cables وجدير بالذكر أنه مفيد أيضا في الدوائر الخاصة مثل مصهر اللحام welder limiter أو مصهر السعة capacitor fuse كما أنه يستخدم في الدوائر الإلكترونية ودوائر الوقاية.



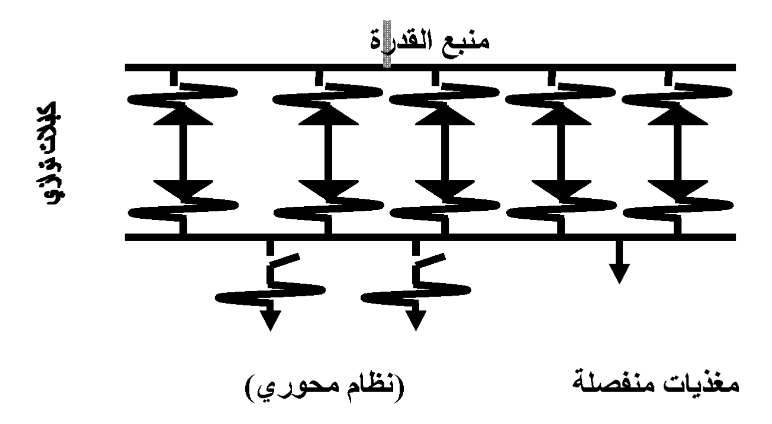
الشكل رقم 7- 29: استخدام المصهر لحماية أشباه الموصلات

من الهام أن يضاف العوامل الهامة الآتية واللازمة للاختبار وهي:

1- علاقة الجهد والتيار المقنن

2- تيار الصهر الأقصى
fusing peak

3 - الطاقة الحرارية بالمعامل $I^2 t$ بوحدات (ك. أ^2 . ث) وهي ما جاءت علي سبيل المثال في الجدول 7 - 5 لبعض أنواع المصهر القياسية. وهو معامل هام مع الدوائر الإلكترونية خصوصا مع الثيريثتور وكذلك معامل القدرة الحرارية للفصل والمحدد بالقيمة $I^2 t^{1/2}$.



الشكل رقم 7- 30 : حماية كابلات التوازي بالمصهر

4- علاقة تيار القصر المتماثل مع أقصى تيار مار **peak let through** بالنسبة للمصهر.
أما عن اختبار خصائص المصهر فتنحصر في الاختبارات الأساسية والتي لا بد وأن تشمل هذه الإختبارات بالمسميات التالية:

الشكل رقم 7-31: حماية الثيرثتور بالمصهر

1- إختبار العزل

(مستوى العزل الكهربائي مع مقنن التيار)

2- إختبار ارتفاع درجة الحرارة

(تغيير التيار المقنن مع الارتفاع الحراري)

3- إختبار الكسر (الإنهيار) الكهربائي

4- إختبار خصائص التيار مع الزمن

(العلاقة بين التيار وزمن الفصل وهو ما يعرف بخصائص الفصل)

5- إختبار تأثير الموجات الكهرومغناطيسية (الراديو)
6- خواص قطع التيار (كما جاءت بالشكل 7-22).

7- إختبار الحساسية

قياس التيار الأدنى للفصل مشيرا إلي معامل الانصهار (مستوى الحساسية).

8- إختبار جودة المصهر
ينحصر ذلك في قياس أقصى تيار لا يفصل الدائرة بالمصهر وهو أيضا من العلامات المميزة لجودة المصهر.

9- قياس مقاومة المصهر للتأكد من التأثير الحراري وسلامة عمله.

كما يضاف تلك العوامل الهامة اللازمة للاختبار وهي

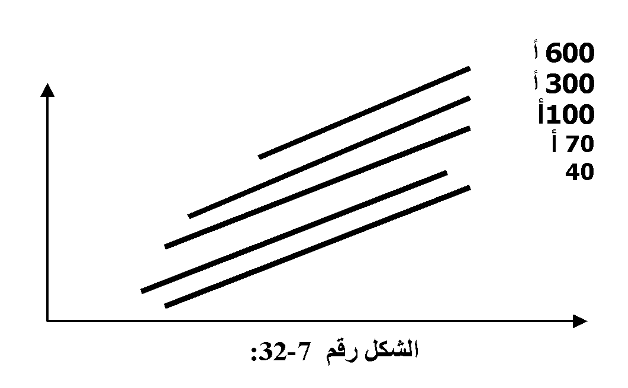
1- علاقة الجهد والتيار المقنن
2- تيار الصهر الأقصى **fusing peak**
3- الطاقة الحرارية بالمعامل I^2t بوحدات (ك. أ ^{2} . ث) كما جاءت علي سبيل المثال في الجدول 7-10 لبعض أنواع المصهر القياسية. وهو معامل هام مع الدوائر الإلكترونية خصوصا مع الثيريثتور (الشكل رقم 7-31). وكذلك معامل القدرة الحرارية للفصل والمحدد بالقيمة $I^2\ t^{1/2}$.

4- علاقة تيار القصر المتماثل مع أقصى تيار مار peak let through بالنسبة للمصهر وهي العلاقة المبينة في الشكل رقم 7-32 بالمقياس اللوغاريتمي.

ثامنا: عيوب المصهرات Disadvantages

تتضمن العيوب المتوافرة في المصهرات بوجه عام بالنقاط الجوهرية التي تمس مبدأ الأداء والتصنيع ومن ثم نضع أهمها في ثلاث نقاط هي:

1- لا يمكن تغيير قيمة تيار الفصل
2- يلزم تغييره بعد الفصل
3- يجب التأكد من المصهر البديل من جهة خصائص الأداء



الشكل رقم 7-32:

جدول رقم 7-10: أقصى تيار مار بقصر 100 ك. أ.

نوع	مقنن المصهر (أ)	تيار الفصل (أ)	معامل الطاقة الحرارية
الأول	30	7.5	7
	60	10	30
	100	14	80
	200	20	300
	400	30	1100
	600	45	2500
الثاني	30	10	10
	60	12	40
	100	16	100
	200	22	400
	400	35	1200
	600	50	3000
الثالث	30	11	50
	60	21	200
	100	25	500
	200	40	1600
	400	60	5000
	600	80	10000
الرابع	30	14	50
	60	28	250
	100	35	650
	200	60	3500
	400	80	15000
	600	130	40000

وقاية الدوائر الكهربائية الفرعية
PROTECTION OF ELECTRIC BRANCH CIRCUITS

بعد كل ما سبق من شرح في الفصول السابقة نأتي إلي فرعيات التطبيق وهو الجانب الأكثر شيوعا بين الأفراد مستهلكين أو متخصصين، فنقابل أو نواجه عددا من النقاط الأكثر إستخداما سواء في القطاع الحكومي أو القطاع الخاص المتزايد بصفة مستمرة. إن الوقاية البسيطة الأولية تكمن في إستخدام المصهرات وهي من أقدم وسائل الوقاية علي وجه الإطلاق، كما أنه سبق التوضيح بشكل مركز لهذا العنصر ولمكونات الوقاية كمنظومة أساسية ولكننا نحتاج الآن إلي المزيد من الفهم والتعامل مع هذا العنصر الهام للوقاية خصوصا مع الدوائر الكهربية. هذا لأننا كنا نتعامل مع الشبكة الكهربائية الموحدة في الفصول السابقة بينما نتناول هنا الدوائر الفرعية سواء كانت للورش أو المصانع أم للأفراد والأحمال المنزلية أو في الطرقات كأحمال الإنارة المستقلة أو غير ذلك، وهذا من التوصيلات الكهربائية بالمنشآت أو في التخصصات الحملية المختلفة.
هكذا ومن هذا المنطلق يكون ضروريا بسط المزيد من العمق داخل الدوائر الكهربائية الفرعية المستقلة في هذا الفصل. علي الجانب الآخر يلزم أن نتناول عددا من العناصر والوسائل المختلفة المستخدمة عادة (أو شائعة الإستخدام) في الدوائر الكهربية الفرعية بكافة أنماطها بعيدا عن منظور التعامل مع الشبكة الكهربائية الموحدة، حيث كانت الفصول السابقة موجهة نحو ذلك الهدف، لذا نضع بعض العناصر الأساسية من وسائل الوقاية المنتشرة فعلا لدراستها وتطبيقاتها في الدوائر الكهربائية الفرعية.

8 - 1: نظم التأريض Earthing (Grounding) Systems

يعني التأريض ليس فقط تاريض كل منزل على حدة بل أيضا المجمعات أو التجمعات السكنية ككل وانشاء شبكة ارضى لها كاملة، وذلك لحماية كل السكان في هذة المنازل أو المناطق من الخطورة. كما يجب التأكد بصفة دورية ومستمرة من أن قيمة مقاومة الارضى الكهربائية فى الحدود المسموح بها طبقا للمواصفات العالمية كنقطة امان هندسية، وهذه النوعية من التأريض تعتبر محليا بالمنطقة حيث الإستهلاك الكهربي. هكذا نستعرض نظم التأريض الأساسية (TT و TN و IT)، ولهذا نضع الرموز الأساسية في موضوع التأريض محورا لفهم نظم التأريض، حيث أن مسميات نظم التأريض الأساسية تتكون من حرفين فالحرف الأول يعني التوصيل بين الأرض والشبكة الكهربائية (مولد أو محول) بينما رموزه المستخدمة قد جاءت في الجدول رقم 8 – 1 من أجل سهولة الفهم لوسائل التأريض المختلفة. أما الحرف الثاني فهو يعني التوصيل بين الأرض والمعدة أو الجهاز المستخدم ولذلك نجد ان الرموز الخاصة به قد أدرجت في الجدول رقم 8 – 2.

الجدول رقم 8 – 1: معني الرموز المستخدمة للحرف الأول في نظم التأريض (TN, TT, and IT)

الرمز	المعني
T	توصيل مباشر بين النقطة والأرض
I	لا يوجد توصيل بين النقطة والأرض إلا إذا كانت مكونة ذات مقاومة عالية جدا لدرجة إمكانية إعتبارها دائرة مفتوحة

الجدول رقم 8 – 2: معني الرموز المستخدمة للحرف الثاني في نظم التأريض (TN, TT, and IT)

الرمز	المعني
T	توصيل مباشر مع الأرض بغض النظر عما إذا كانت المنظومة مؤرضة فعلا أم لا
N	التوصيل مع الأرض من خلال نقطة التعادل

أولا: نظم التأريض الأساسية

نتعامل هنا مع المبدأ الأولي لمعني التأريض حيث ينبع بعضا من الأشكال المتوالدة عن هذه النظم الأساسية وهي ما يمكننا أن نضعها في السياق التالي:

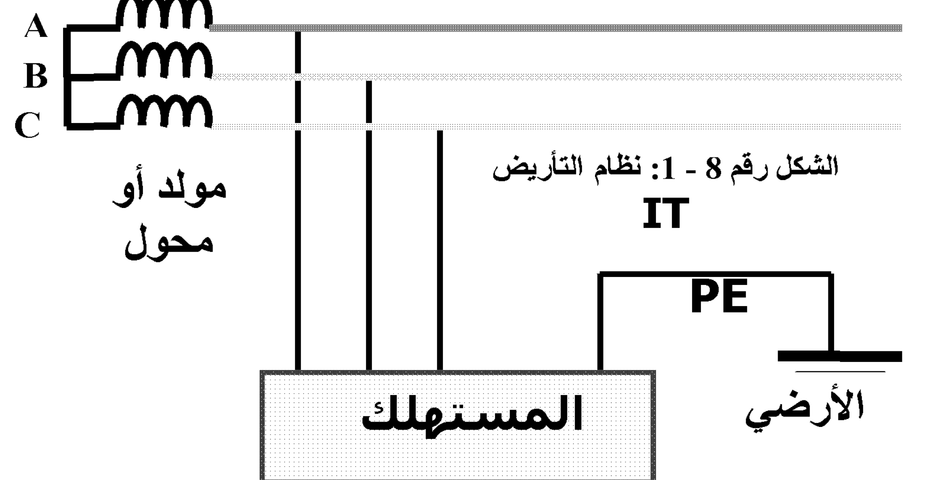
1- نظام التأريض الوقائي IT {*Protective Earth* (PE)}

هذا النظام بجانب التأكيد علي حماية الأفراد من جهد التلامس نتيجة الكهرومغناطيسيات يكون واقيا لأي تلامس داخلي في الدوائر الكهربية إذا ما إنهار العزل الكهربائي للأجزاء الحاملة للتيار الكهربائي داخل المعدة أو الجهاز، والذي سوف يتسبب في غمز أجهزة الوقاية الخاصة بالزيادة في التيار Over Current Protection مؤديا إلي تشغيل القواطع المنمنمة MCB أو المصهرات fuse حسب الأحوال.

هكذا نجد أن نظام التأريض الأولي وهو المسمي "نظام التأريض IT" قد ظهر كدائرة كهربائية في الشكل رقم 8 – 1 حيث يظهر من الشكل أن التأريض يتم للأجسام المعدنية التي داخلها أسلاك مكهربة دون التلامس مع نقطة التعادل وذلك من خلال السلك PE.

يتم التاريض المحلى بالموقع العام فى الابنية الكبيرة او على مسافات متباينة فى المدن حتى نمنع قيمة جهد نقطة التعادل من تجاوز القيمة المسموح بها، ونستطيع تنفيذ ذلك من خلال ثرى قطبا نحاسيا او عددا متوازيا منها داخل الارض على عمق كبير من سطح الارض وطبقا للمواصفات. يتم اختيار القطب أو الأقطاب المتعددة من مادة النحاس لأن مقاومتها النوعية اقل من بقية المعادن بالرغم من ان الذهب أقل فى القيمة الا انة باهظ الثمن، وقد يشكل خطورة لتعرضة للسرقة اذا ما تم استعماله.

يصلح هذا النوع من التاريض للمناطق الصناعية الصغيرة وللمبانى ضخمة الاستهلاك الكهربائى علاوة على انة هام للمنازل الصغيرة ايضا، ولكنه لا بد من الإستعانة بالمتخصصين (من شركات الكهرباء او الشركات المتخصصة في أعمال الكهرباء) - حتى نتاكد من المقننات القياسية والخضوع للمواصفات الدولية -



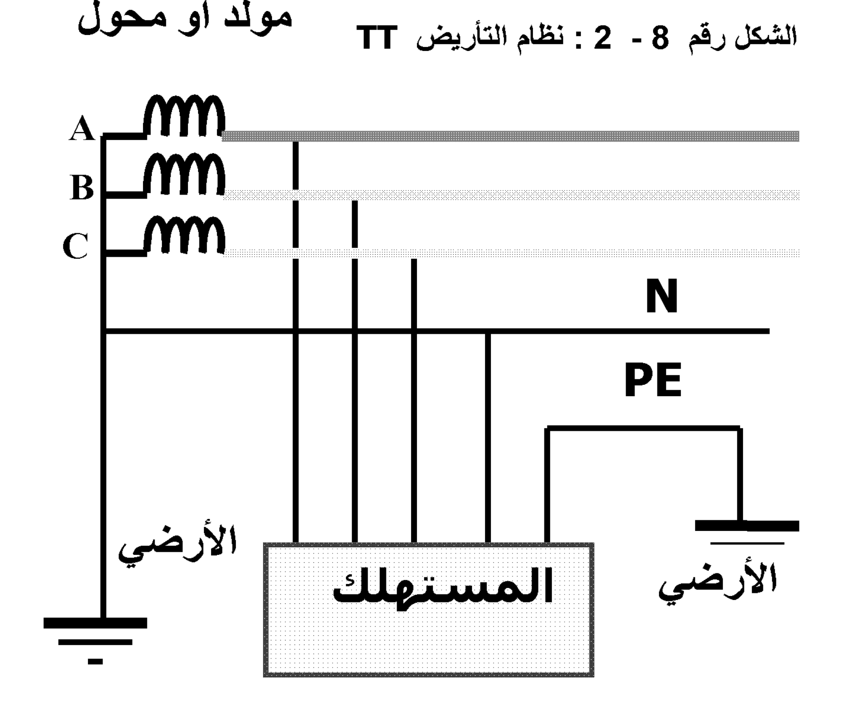
الشكل رقم 8 - 1: نظام التأريض IT

خصوصا وان هذا التاريض قد يؤثر بطريقة غير مباشرة على قيمة التيارات القصرية التى تمر بالقواطع الكهربائية وتزيد بقدر غير محسوب قد يفوق حدود تشغيلها فتؤدى الى تدميرها.

نظام التأريض IT هو المناسب للتوصيلات الكهربائية عند أطراف التوزيع للأماكن عالية الإستهلاك مثل المعامل والمستشفيات ومواقع البناء، حيث العاملين في هذه المواقع، كما هو هاما في الورش وأماكن الإصلاح بشكل شمولي. من الجهة الأخري ينصح باستخدام نظام التأريض هذا في المواقع كثيفة الأحمال والتي بها تعاملا بشريا متعدد ومع الأطفال مثل المدارس وكذلك يلزم الإعتماد علي هذا الأسلوب مع المواقع مرتفعة المستوي من ناحية الخطر نتيجة انهيار العزل الكهربائي للملفات والأجهزة العاملة فيها.

2- نظام التأريض الوقائي TT

نظرا لأن المعدات والأدوات الكهربائية المستخدمة تقف علي الأرض بشكل ما سواء مباشرة أو داخل الأبنية أو حتي فوقها، وحيث أن جهد الأرض عامة لا يساوي الصفر هندسيا من وجهة النظر الكهربائية، فاننا نحتاج إلي تأمين إستخدام هذة الأجهزة والمعدات والأدوات ضد ظهور الجهد الكهربائي المميت أحيانا. بهذا يكون ضروريا التعامل مع هذه الدوائر الكهربية والتي تغذي هذه المعدات بالقدرة الكهربائية بشكل آمن، ومن ثم تكون هناك الحاجة الماسة لوضع جميع الأجسام المعدنية لكل المعدات والأجهزة التي يتعامل معها الفرد علي الجهد الكهربائي الصفري. هذا التفكير أساسيا لحماية النقاط والأسطح المعدنية من تأثيرات المجالات الكهرومغناطيسية أيضا وتكون هناك المباديء الأولية لهذه النوعية من الوقاية.

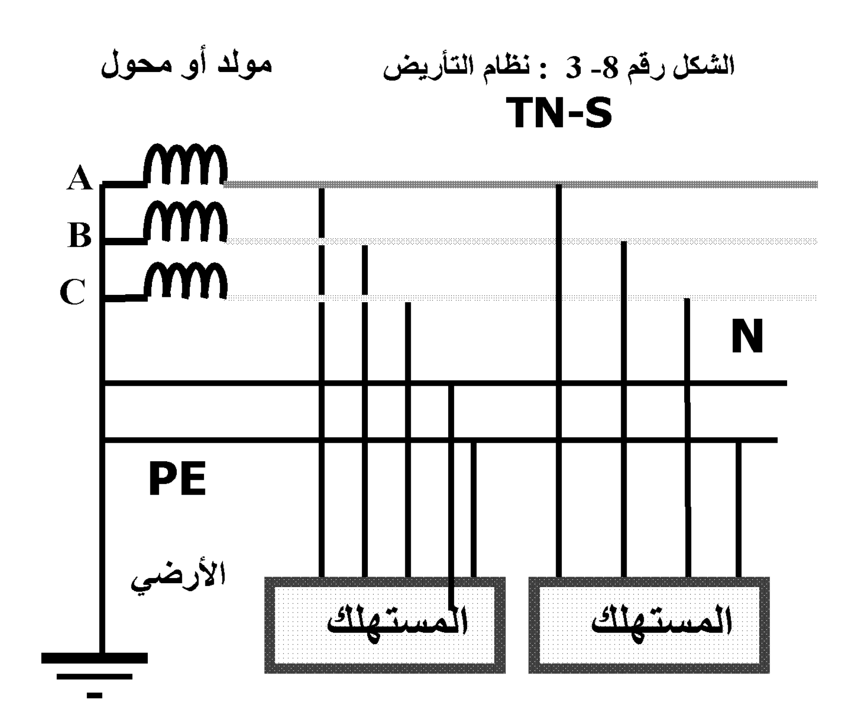


الشكل رقم 8 - 2 : نظام التأريض TT

بشكل آخر قد يتساءل البعض عن السبب فى احتراق مفتاح ما ويكون السبب نتيجة انه تم وضع تاريض محلى بعد تنفيذ التصميم دون علم المتخصصين، لأن التأريض يدخل في دائرة التتابع الصفري وهو التيار المار في الأرض. ومن ثم تظهر التغيرات في قيمة تيار القصر وهو ما يعتمد على قيمة التيارات الصفرية المارة بالارض مزيدا من قيمتها خصوصا وانه عند تصممم الشبكات عادة يتم تقطيع مسارات هذه التيارات حتى تصبح الدائرة الصفرية غير محسوبة على الاطلاق فتقل قيم التيارات الطورية أثناء القصر وهي التى نحتاج الى خفض قيمتها بقدر الإمكان خلال قطعها بواسطة المفاتيح الكهربائية.

هكذا نجد ان كثرة هذه النقاط التاريضية قد يسمح بمرور التيارات الصفرية بينها مزيدا من قيمة التيارات القصرية وهو ما يلزم اعتباره عند التصميم ايضا وقبل إختيار المفاتيح الكهربية لاحتواء التاريض المستقبلى فى المنطقة والتى تتاثر بذلك الوضع.

ثانيا: نظم التأريض التنفيذية



وضعت المواصفات الدولية القياسية نظما متعددة للتأريض وهو المعني الذي يفيد بأن نضع جميع الأجسام المعدنية لكل المعدات والأجهزة العاملة بالطاقة الكهربائية علي الجهد الصفري وهي النظم الواردة في السطور القليلة التالية. تنطوي هذه النظم المختلفة والمتباينة علي التنفيذ العملي والتطبيقي للمبادئ السابق ذكرها وذلك من خلال التركيبات أو التمديدات الكهربائية بوضع بعضا من التوصيلات الكهربائية عموما بناء علي النظم السابقة. كما يمكننا أن نطرح هذه النظم التطبيقية للتأريض في ثلاث أنماط قياسية تبعا للمواصفات الدولية كما هي مجدولة في الجدول رقم 8 – 3، ومن ثم نستعرضها علي وجه الإيجاز كما هو آت:

الجدول رقم 8 – 3: التفصيل لنظم التأريض القياسية تبعا لمسميات المواصفات الدولية (TN-C-S, TN-C, and TN-S)

م	نظام التأريض	رقم الشكل	التفصيل
1	TN-S	3 - 8	كلا من الموصلين PE و N عبارة عن موصلات منفصلة حيث يتم توصيلهم مع مصدر الجهد عند المنبع فقط
2	TN-C	4 - 8	الموصلات المجمعة PEN يعملون جميعا بدلا من PE و N المستقلين
3	TN-C-S	5 - 8	جزء من الشبكة يستخدم الموصل PEN فقط مشتركا كلا من PE and N كفرعين مستقلين

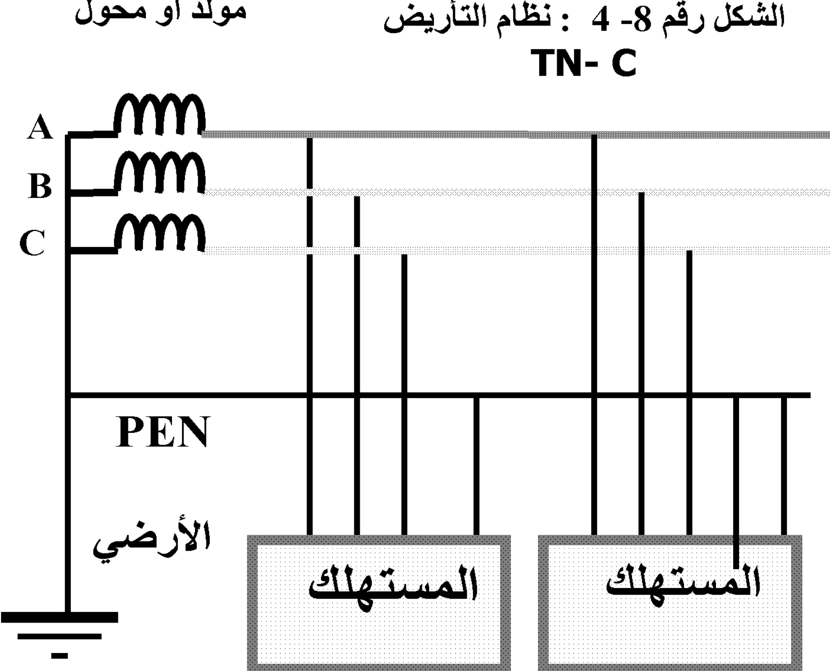
يعطي الجدول رقم 8 – 3 الإطار الأولي للمسميات الأساسية لنظم التأريض القياسية الثلاثة وهي من المقننات المتداولة عالميا وتعتبر التنفيذية بشكل أوسع، حيث نجد أنها سوف ترد تفصيلا في السطور التالية مع العلم بأن هذه الرسومات هي الموجودة فعلا بالمواصفات القياسية الدولية وهي أيضا المتبعة في المجال التنفيذي في جميع البلدان. إضافة إلي ذلك فان هذه النظم التأريضية تهم أعمال الوقاية بالدرجة الأولي لأنها تدخل في دائرة التتابع الصفري كما سبق الشرح لهذه النقطة.

-1 النظام TN-S

هذا النظام يمثل شبكة كهربائية بنظام التأريض TN-S حيث لا يتم توصيل ارضى الشبكة N مع التاريضى المحلى PEفتكون كلا منها موصلات منفصلة تماما ولكنه يتم توصيلهم مع مصدر الجهد عند المنبع فقط أي أن كلا من موصلي التأريض والتعادل منفصلين عمليا ولكنهما متصلان كهربائيا عند المنبع.
يستخدم النظام TN-S في المناطق والمنازل الريفية urban and suburban homes عموما بينما يستخدم الأرضي بسلك مستقل ككابل، كما يتم توصيل نقطة التأريض بجراب lead sheath الكابلات الكهربية underground cable وذلك في النظام TN-S.
يظهر في هذا النظام تواجد خطين (موصلين) كهربائيين بالجهد صفر علي طول الدوائر الفرعية جميعا وبلا إستثناء أحدهما يخص نقطة التعادل وهو موصل التعادل N بينما الخط الثاني يخص نقطة التأريض المحلي وهو يعتبر موصل التأريض PE.
هذا بالإضافة إلي أن كلا من الموصلين متصلان معا في بداية التغذية للدائرة الفرعية أو لمجموعة الدوائر الكهربائية الفرعية معا، كما يوضحه الشكل رقم 8 – 3.

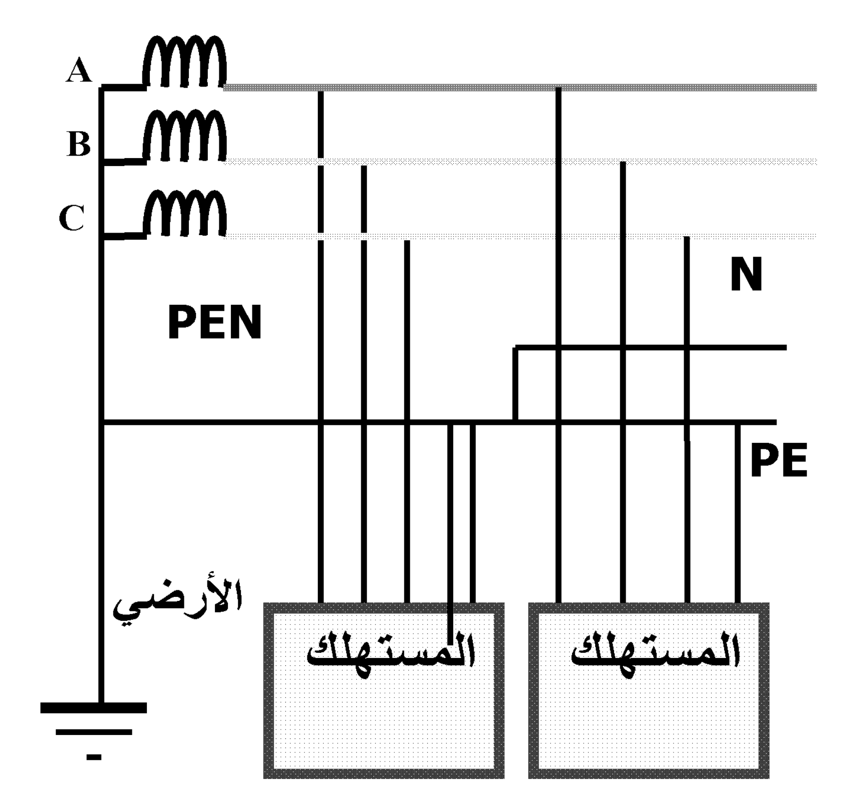
-2 النظام TN- C

في هذا النظام من نظم التأريض تكون الموصلات PEN (موصل وحيد) يعملون بمفعول كلا من موصل نقطة التعادل N وكذلك موصل التأريض المحلي PE المستقلين ليصبحا موصلا واحدا وبأسم PEN حيث أن هذا مسمي قياسيا في جميع المواصفات القياسية.
أي أنها عبارة عن شبكة كهربائية بنظام TN-S ولكن فيها يتم توصيل ارضى الشبكة مع التاريضى المحلى كما هو موضح في الشكل رقم 8 – 4.
شاع الإعتماد علي هذا النظام في التأريض في المناطق القديمة في كافة المدن والقري حيث عادة ما كانت التوصيلات الكهربائية تعتمد علي نظام TN-C للتأريض، ولذلك في الوقت الراهن يجب تعديل هذه كافة توصيلات المنظومة إلي النظام TN – S. هذا الإجراء هاما لأن هذه النظم غير مناسبة في المنازل خصوصا وأنه لا يفضل إستخدامه حاليا في الدوائر الفرعية أو في شبكات التوزيع الكهربائي.



3- النظام TN- C-S

في هذا النظام نجد أنه جزء من الشبكة يستخدم فقط نظام الموصل المشترك لكلا من نقطة التعادل وموصل التأريض والمعروف باسم **PEN** مشتركا معا بينما قد يتفرع إلي كلا من موصل التأريض **PE** بجانب موصل نقطة التعادل **N** كفرعين مستقلين في الجزء الآخر من الشبكة وهو ما يظهر بجلاء في الشكل رقم 8 – 5. معظم المنازل الحديثة سواء في أوروبا أو أمريكا تستخدم النظام التأريضي **TN-C-S** حيث يكون الجزء المشترك **combined** لكلا من خط التعادل **neutral** والأرض **earth** يكون بين أقرب محطة محولات والمستهلك مع ضرورة تركيب مصهر قبل الأجهزة الستخدمة بشكل عام، ويليه الجزء المستقل لكلا من خط التعادل وجميع التوصيلات الكهربائية الأخري.



مما سبق يظهر أن هذه النوعيات من التأريض تعمل علي الوقاية من زيادة التيار في الدائرة الكهربية بجانب حماية الأفراد من الصدمات الكهربائية **Electric Shocks**، إلا أنه من الضروري التأكيد علي أن هذا النظام من التأريض قد يسمح بمرور تيارات في حالات التشغيل العادية. عندئذ يتم ضبط أجهزة الوقاية مع حساب وجود الحدود القصوي المسموحة لمرور التيار في هذه الحالة وكذلك عند الحاجة في بعض الحالات إلي استخدام مرشحات **(electromagnetic-compatibility filter)** أو مانعات الصواعق **(anti-surge)** أو مع بعض أصناف المستقبل أو الإريال **(antennas)** وكذلك مع أجهزة القياس **(various measurement instruments)**. ولهذا يكون من الضروري التعامل مع هذه النوعية من التأريض بدراسة وافية ودقيقة لكل الحالات التصميمية.

ثالثا: خصائص نظم التأريض Performance of Earthing Systems

يتم وضع الخصائص الأساسية وبصورة مركزة للتوضيح الهندسي في النقاط التالية.

1- الناحية الإقتصادية Economic Side

النظام TN إقتصادي منخفض التكلفة cost مع معوقة التأريض الصغيرة عند التعامل مع كل مستهلك منفردا مما يفيد تركيب أرضي محلي لكل مستهلك في موقع الإستهلاك. علي الجانب الآخر من هذه الحالة وفي نظامي IT و TT نحتاج إلي حماية للتسرب الأرضي protective earth وضبطه.
النظام TN-C يوفر ثمن الموصل المضاف لتغطية الموصلات المنفصلة وهي الأرضي PE وخط التعادل N ومن ثم يرتفع مستوي الخطر نظرا لإحتمال إنقطاع خط التعادل إضافة إلي ضرورة الإعتماد علي نوعيات كابلات تسمح بهذا العدد من الموصلات داخل الكابل.
يحتاج النظام TT إلي الوقاية بزمن متأخر تبعا لنظم التمييز السابق شرحها مثل الوقاية RCD downstream. يخضع هذا النوع من الوقاية لقانون كيرشوف الثاني والخاص بمجموع التيارات عند العقدة تبعا للمعادلة:

$$I_{L1} + I_{L2} + I_{L3} + I_N = 0 \qquad (8-1)$$

حيث يتم ضبطه مع القيمة العملية (typically 10-500 mA).

2- الأمان الكهربائي Electric Safety

جدير بالذكر أن نقطة التعادل في منظومات القوي ثلاثية الطور (عديدة الطور) غير المتماثلة عموما تتحرك (تتزحزح) عن وضعها الأصلي، بهذا المنطلق لا يجوز وضع نقاط فاصلة plug/socket لنظم التأريض المختلفة نظرا لإرتفاع معامل الخطورة نتيجة التركيبات عند التوصلات اليدوية. يرتفع معامل الخطورة أكثر إذا ما تم إستخدام كابلات ذات عزل (قد ينهار) في التوصيلات الخاصة بنقاط التأريض.
إذا ما حدث قصر نتيجة لإنهيار العزل الكهربائي في النظام التأريضي TN مما سوف يتسبب في غمز متمم الوقاية الخاص بزيادة التيار over current فيعطي الأمر بالفصل التلقائي للقاطع circuit-breaker أو تشغيل المصهر fuse بالدائرة الكهربائية المعنية أي يفصل الدائرة. أما في النظام TT ترتفع قيمة تيار القصر نتيجة دخول كل دوائر التوزيع الفرعية معا علي التوازي في دائرة الترتيب الصفري مما يستدعي تركيب الوقاية المميزة RCD.
عادة ما يظهر هذا العيب في نظم التأريض TN-S، TT وفي بعض الأحيان مع النظام TN-C-S عند فصل التوصيلات مما يدعونا إلي إستخدام وقاية التسرب الأرضي residual-current device إلزاميا كنوع من الوقاية الإحتياطية، خصوصا وأنه قد يهمل المستهلك هذه النقاط الفنية المتخصصة حيث أن إحتمالية القصر بين الطور وخط التأريض PE أو خط التعادل. بالرغم من ذلك نجد أنه أيضا لا يفضل إستخدام أجهزة قياس التيار المتبقي current residual (الوقائي) في النظامين IT ، TN-C في مجال البحث عن الكسر الكهربائي للعزل، بينما في النظام التأريضي TN-C نجد أنها ستكون أكثر عرضة للتلامس triggering غير المرغوب بين نقاط التأريض ونقطة التعادل الفعلية مما يجعله غير عملي في الإستخدام. جدير بأن نحدد أن النظام TT قد يعبر عن أفضل الحلول الفنية لتلافي إشتراك كلا من نقطتي التعادل والتأريض.
في نظامي التأريض TN-C-S و TN-C أنه إذا ما حدث فصل بين نقطتي التعادل والتأريض (بعيدا عن الأطوار حاملة التيارات) قد يتسبب نظريا في رفع الجهد للأعمال المعدنية المتواجدة إلي جهد خطر عي حياة الإنسان. كما أنه إذا ما حدث أي إتصال ما بين نقطة الربط بين نقطتي التعادل والتأريض مع جسم الأرض قد يؤدي إلي تلاشي قيمة التيار في التشغيل العادي وقد يسمح بالقيمة الأكبر من التيار في حالات قطع الإتصال مع نقطة التعادل، مما يشكل عيبا هندسيا ولذلك لا ينصح باستخدام النظام TN-C-S للتأريض في المواقع البترولية مثل محطات البنزين والتي يتم بنائها فوق الخزانات المعدنية (تحت أرضية buried metalwork) بجانب تواجد الغازات القابلة للإنفجار explosive gases.
من الملاحظ أنه في النظم مفردة الطور مشتركة في نقطتي التأريض والتعادل (مثل النظام TN-C وجزء TN-C-S من المنظومة عند المشاركة في نقطتي التعادل والتأريض) وذلك بسبب عزل جميع النقاط في الدائرة الكهربائية بعد أية نقطة تصبح مفتوحة في الخط PEN مما قد يتسبب في رفع الجهد الخطي علي التوصيلات بها.
يتميز نظام التأريض IT بفعاليته وحساسيته للجهود الزائدة overvoltages بالنسبة لبقية نظم التأريض، بينما يعيبه أنه في حالة حدوث كسرا للعزل تنتج تيارات خطرة في جسم الأنسان (جهد التلامس) والملامس للجسم المعدني من المعدات الكهربائية ذلك لأن مقاومة الأرضي تكبر مما يجعل جسم الإنسان موصلا علي التوازي معها ويتم توزيع التيارات بين جسم

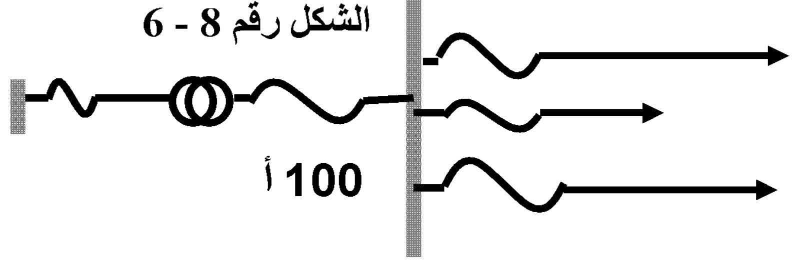
الإنسان وسلك التأريض (عالي المقاومة) بالنسبة العكسية للمقاومات فيصبح بذلك كبيرا بالنسبة للأنسان. ومع ذلك فان ذلك يعمل علي تغيير طبيعة نظام التأريض **IT** إلي **TN** النظام في اول كسر للعزل أما بعد ذلك فالتكرار لكسر العزل يؤدي إلي الخطورة المذكورة. تزداد هذه العيوب خطورة مع الشبكات الكهربائية متعددة الأطوار إذا ما حدث الإتصال المباشر بين أحد الأطوار وسلك التأريض فقط مما يؤدي بالتالي إلي رفع جهد الأرضي بالنسبة لمستوي التأريض كما يتسبب في رفع قيمة الجهد بين الأطوار أيضا بجانب الجهد بين الطور ونقطة التعادل.

3- أسلوب الضبط الكهربائي Regulations

في الدول المتقدمة مثل الولايات المتحدة الأمريكية وكندا والمملكة المتحدة البريطانية يتم توصيل نقطة التعادل مع نقطة التأريض عند محول التوزيع ويخرج سلك التعادل مؤرضا ليمتد إلي التوصيلات المنزلية.
يتم تنفيذ وتطبيق هذا النظام الخاص بالتأريض في الدوائر الكهربائية الفرعية عادة في التركيبات الكهربائية المنزلية سواء كانت التغذية مفردة الطور (طور وحيد وسلك تعادل) أو طورين أثنين فقط مع سلك تعادل أو للنظام ثلاثي الطور. ذلك عادة يكون أما مع استخدام الفصل بين نقطتي التعادل والتأريض داخل المنشآت باستخدام النظام **TN-C-S**. كما نكون في أمس الحاجة إلي هذه النظم في المنشآت الصناعية والتركيبات الصناعية وتلك الهامة في ميدان الصناعات البترولية بل والتنقيب سواء عن النفط أو في المناجم والمحاجر خصوصا وأنها تمس الثروات المعدنية.
يجب توصيل نقطة التعادل مع نقطة التأريض عند بداية التغذية الكهربائية لكل مستهلك أي عند بداية (مدخل) الوحدة السكنية وقبل الدخول علي القواطع الكهربائية المنزلية أو القواطع المنمنمة.
تضع المواصفات القياسية الأمريكية أن يتم توصيلات نقطة التعادل ونقطة التأريض (منفصلتين) علي كامل التركيبات المنزلية بعد القواطع المنمنمة أيضا ولا يكتفي بها عند المدخل فقط. بينما في فرنسا والأرجنتين يلتزم المستهلك بتوصيل قطب التأريض الخاص به علي النظام **TT**.
يفضل إستخدام النظام **IT** للتأريض في المعامل **Laboratory** والتجهيزات الطبية **medical facilities** ومواقع البناء **construction sites** وورش الإصلاح **repair workshops** وغيرها حيث تزداد خطورة **risk** تأثير الكسر الكهربائي، وذلك من خلال إستخدام محول توزيع غير مؤرض **isolated transformer**، وهذا يتم للعدد الصغير من الأحمال أو الإتجاه نحو إضافة وسائل للوقاية. بهذا يستعان بهذا النظام في التأريض مع المراجعة المرئية من خلال شاشات عرض ووقايات مكملة في غرف العمليات والمستشفيات والأماكن المماثلة.

8– 2: وقاية الدوائر المتوازية Parallel Circuit Protection

إنطلاقا من الهدف الأصلي للوقاية ندخل إلي الموضوع من حيث الغرض وأسلوب التنفيذ العملي في نطاق الشبكات الكهربائية أو الدوائر الكهربائية المنفصلة والمستقلة. نجد أن المبدأ العام للوقاية هو التكامل الوقائي لكل دائرة فرعية وبالتالي لكل منظومة وقائية من أجل تغطية النقاط الميتة في الوقاية داخل الشبكة أو حتي لتستكمل الوقاية في المناطق والنوعيات منخفضة الحساسية. هكذا نصل بمفهوم التكامل الوقائي لكل دائرة فرعية ثم للشبكة الكهربائية ككل باسلوب منظومة الوقاية، وبالتالي يمكن تحزئة الشبكة الكهربائية المعقدة إلي مناطق متتابعة بقدر الإمكان.



الشكل رقم 8 - 6

جدير بالذكر أن الدوائر المتوازية متواجدة في جميع المواقع الكهربائية سواء كانت منتجة أو مستهلكة للطاقة الكهربائية علي حد سواء، ومن ثم يكون ضروريا التعامل مع الأسس الهندسية التي يجب أن تؤخذ في الإعتبار عند التنفيذ أو الإشراف أو حتي التفتيش الهندسي عليها.

تظهر الأهمية البالغة لهذا الموضوع نظرا للتشابك المعقد والمتداخل في الشبكات الكهربائية بين خطوط النقل الكهربائي أو بين المغذيات في نطاق التوزيع الكهربائي، مما يقودنا إلي إعادة النظر إلي أسلوب الضبط الزمني للفصل التلقائي مع الأخطاء الكهربية المختلفة خصوصا مع الوصول إلي المناطق الحرجة في الوقاية. تظهر هذه النوعية بالذات مع نظم الوقاية بالفصل الزمني المتدرج Graded Protection حيث النظم المختلفة السابق شرحها من خلال الفصول السابقة في هذا الكتيب.
هكذا وبالمراجعة للفصل الزمني نتيجة التداخل الكهربائي ينتقل هذا التداخل إلي دوائر الوقاية الزمنية، وهو ما يدعونا إلي زيادة زمن الفصل التلقائي في كثير من الحالات بمدة كبيرة قد تسمح باستمرارية تواجد الخطورة نتيجة تواجد القصر (تيارات القصر الهائلة) لفترات زمنية أطول.
هكذا نجد أن التعقيد الشديد في الضبط الزمني داخل الشبكات الكهربائية قد يعود بالضرر علي المعدات بينما تختفي هذه الظاهرة في الدوائر الكهربائية الفرعية عند أطراف المغذيات أو حتي في الدوائر الكهربائية المستقلة بعيدا عن الشبكة الكهربائية. كما تنتشر الدوائر الكهربائية الفرعية عند أطراف شبكات التوزيع الكهربائية أو أنها قد تكون مستقلة تماما في بعض الحالات، وبذلك يلزم وضع منظومة وقاية متكاملة لكل منها بصفة مستقلة.
لهذا السبب يتم عادة في أغلب الأحيان تركيب متمم (مرحل) وقاية تيار الأرضي Earth Current Relay عند أطراف النهاية لمحولات التوزيع Distribution Transformers – أي عند مداخل المغذيات Feeders – وخصوصا مع المحولات غير المؤرضة، ويؤسس هذا المبدأ بتركيبها علي اطراف منطقة الوقاية الحاصة بالدائرة الكهربائية الفرعية. ومن ثم نضع بعضا من الأسس الجوهرية للتعامل مع الدوائر الكهربية الفرعية من خلال السطور التالية.

أولا: وقاية الكابلات المتوازية (المغذيات) Parallel Cable Protection

وقاية الكابلات بشكل عام قد سبق شرحه من قبل ولكننا نتعرض هنا لموضوع توصيل الكابلات عليا لتوازي وخصائص دوائر الوقاية العاملة في المنظومة بشكل خاص. نبدأ من حيث أن يكون لدينا دائرة كابل كما في الشكل رقم 8 - 6 حيث طابع الدائرة محوريا

الشكل رقم 8 - 7

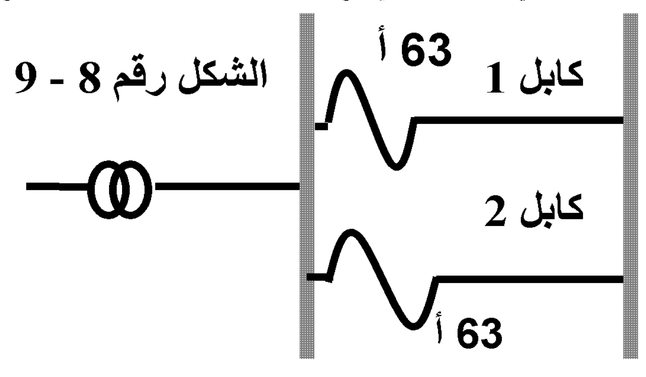
(إشعاعيا) من ناحية التغذية الكهربائية، وهو ما يعني أن المصهر بقيمة مقننة للفصل. ذلك أنه بفرض أن المصهر بالقيمة 100 أمبير مثلا نجد أن الحماية كاملة لهذا الكابل وإمتداده أيضا سواء كوقاية أساسية لكل الكابل أو أساسية في الجزء الأول ومرحلة إحتياطية في الباقي.

نتناول الظواهر الكهربائية المختلفة مع أوضاع التشغيل المحتملة لتوصيل الكابلات في دوائر علي التوازي وهي الأوضاع التي قد تنتج عن القيمة العالية المطلوبة للتيار بينما مقننات الكابلات المتوافرة في الأسواق غير كافية للتغطية المباشرة مما قد يجعل المهندس التنفيذي والمصمم أيضا إلي اللجوء لتوصيل الكابلات علي التوازي، ومن ثم نضع بعضا من هذه الحالات الهامة علي النحو التالي:

الشكل رقم 8 - 8

1- وقاية زيادة التيار Over Current Protection

هذه الكابلات مغذيات محورية وقد سبق الشرح لمنظومات الوقاية ودوائرها في حالات متعددة، أما إذا تحول الشكل إلي توصيل علي التوازي مباشرة أي أن البداية مشتركة للكابلات والنهاية مشتركة أيضا فنصل إلي الدائرة المبينة في الشكل رقم 8 - 7. مع التعامل بالشكل الموضح يكون سليما من ناحية القصر فالحماية موجودة كلك كابل علي حدة وهناك حماية أساسية علي التوصيل المتوازي للكابلين (الشكل رقم 8 - 8)، ولكن الوضع يختلف إذا ما تم الإعتماد علي الوقاية العمومية (مصهر 100 أمبير) فقط. في هذه الحالة لا يوضع مصهرات علي كل كابل وبالتالي نصل إلي وضع غير صحيح للوقاية أحيانا.
من الضروري توضيح هذا العيب ووقت ظهوره حيث أنه في التشغيل العادي مع التوصيل الكامل للدائرة يكون الوضع سليما لهذا الوضع تحديدا، أي أن المصهر (100 أ) كاف لحماية كلا الكابلين. من الناحية الأخري إذا ما تغير وضع اي من الكابلين، أي أن أحدهما خارج الخدمة والثاني فقط الذي يعمل وهو ما يفيد بأن المصهر (100 أ) هو الواقي له بالرغم من أن الكابل الواحد لا تصل به القيمة المقننة للوقاية إلي هذا الحد وهو الذي لا بد وأن يكون ما يقرب من نصف القيمة. هكذا نجد أنه مع الحساسية المنخفضة للوقاية من زيادة التيار قد يكون المصهر الوحيد ذلك خطرا وضارا بالكابل (الشكل رقم 8 – 8).

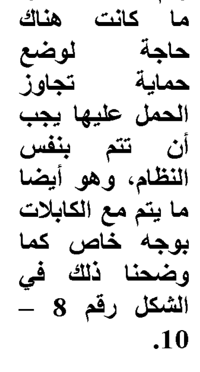


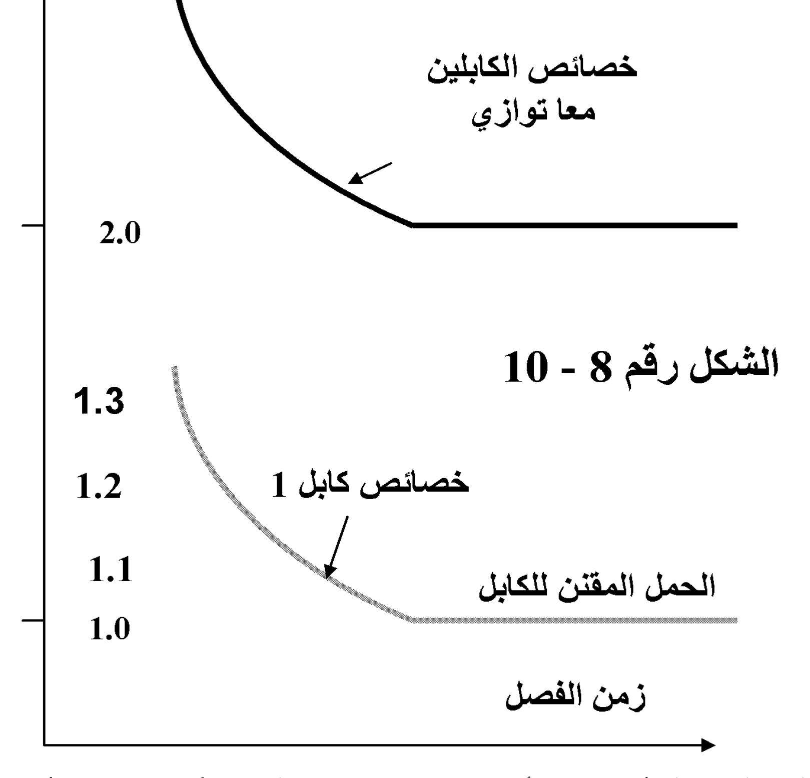
علي الجانب الآخر نجد أن التوصيل المعاكس لهذه الدائرة قد يكون أفضل، أي أن المصهر يوضع علي كل كابل بدون المصهر الرئيسي بالرغم من أن هذا يقلل من قيمة معامل الإعتمادية لتشغيل الشبكة أو بالمعني الصحيحي تشغيل الدائرة (الدوائر) الفرعية، وهو الوضع الذي نراه في الشكل رقم 8 – 9 حيث أن الوقاية لكل كابل علي حدة تتحقق مع الحماية للكابلين في دائرة موحدة محققة أيضا لكل منهما علي إنفراد.
جدير بالذكر أن أفضل توصيل هو ذلك الذي جاء في الشكل رقم 8 – 6 حيث الوقاية الفردية والكلية قد تحققت علاوة علي الإعتمادية العالية في التشغيل.

2- وقاية تجاوز الحمل Over Load Protection

تظهر وقاية تجاوز الحمل كأحد أعمدة الوقاية لدي المستهلك العادي والمستخدم للأجهزة والأدوات الكهربائية والتي عادة تتعامل بأسس تجاوز الحمل، ولذلك تظهر أهمية لتوصيل الكابلات الكهربائية علي نفس السياق فنجد أن المستهلك يتعامل مع هذه الكابلات وخصوصا علي الجهد المنخفض بشكل تلقائي. لهذا نجد أن توصيل الكابلات علي التوازي يخضع لبعض من الأسس التي يجب أن تؤخذ في الإعتبار، فالكابل يصمم علي المبادئ الحرارية قبل الكهربائية (بمعني الأهمية). ولما كانت وقاية تجاوز الحمل تعتمد بالدرجة الأولي علي الزيادة الحرارية في مكونات الكابل – وأهمها هو العزل الكهربائي - كان من الضروري الحفاظ علي الكابل من هذه الحرارة الزائدة عن الحدود المسموح بها.
تخضع ظاهرة الوقاية لتجاوز الحمل المقنن لمبدأ جوهري وهو الإنتقال الحراري لفترة محدودة من الزمن وهو ما يبين كما سبق الشرح للتغير النمطي الوارد في الشكل رقم 8 – 10 والذي يوضح السماحية الزمنية لمرور تيار أعلي من المقنن.
عندما يتم الإعتماد علي الوقاية بتجاوز الحمل نجد أن الشكل رقم 8 – 9 يعطي وقاية تجاوز الحمل بجانب المصهر علي كل كابل منفردا كما في الشكل رقم 8- 7 فيكون القياس الحملي سليما تبعا لما هو مبين في الشكل رقم 8 – 10 حيث القيمة المحسوبة هي الصحيحة.
بينما علي الجانب الآخر نجد أنه في الشكل رقم 8 – 8 إذا ما إختفت وقاية تجاوز الحمل حيث أيضا يختفي تواجد المصهر وبالتالي يكون تواجد وقاية تجاوز الحمل مع المصدر الأولي لكلا الكابلين معا، ومن ثم يكون القياس الحملي فيه خطأ حتي وإن كانت الدائرة كاملة وسليمة من ناحية وقاية زيادة التيار. ذلك أن الحمل المقنن في هذه الحالة سوف يكون مرجعيا للقيمة المرادفة للحمل الكلي وهو في الحقيقة الضعف، ومن ثم يكون المستوي الفعلي لتجاوز الحمل نصف القيمة المتواجدة.

تظهر هذه المبادئ بجلاء مع الدوائر الإلكترونية كما شاهدناها من قبل في الفصل السابع من هذا الكتيب والذي بينه الشكل رقم 7 – 15 لدائرة تيار مستمر متعددة القناطر (رباعية) ثلاثية الوجه حيث تم وضع مصهر لكل موحد مستقلا وبلالتالي إذا ما كانت هناك حاجة لوضع حماية تجاوز الحمل عليها يجب أن تتم بنفس النظام، وهو أيضا ما يتم مع الكابلات بوجه خاص كما وضحنا ذلك في الشكل رقم 8 – 10.





الشكل رقم 8 - 10

ثانيا: وقاية تشغيل المضخات (الطلمبات) Pump Protection

تعمل المضخات سواء المائية أو السائلية أو حتي تلك الغازية بالضخ عن طريق التشغيل التحويلي من الطاقة الحركية Dynamic Energy (الديناميكية) وهذه الطاقة الأخيرة عادة تأتي من المحركات الكهربائية وحيث أنه سبق شرح الأجزاء الرئيسة لدائرة المحرك الكهربائي Electric Motors كما اوردها الشكل رقم 7- 28، حيث يكون هناك المفتاح الرئيسي Main Circuit Breaker في الدائرة ومعه في أغلب الأحيان الوقاية من زيادة التيار Over Current (تيار القصر Short Circuit Current). بالمثل كما سبق التوضيح بالنسبة للكابلات العاملة علي التوازي كهربائيا نأتي هنا لوضع نفس الوضع وعلي نفس المنوال لأنه أسلوب متكرر من حيث المبادئ الكهربائية.

1- وقاية زيادة التيار Over Current Protection

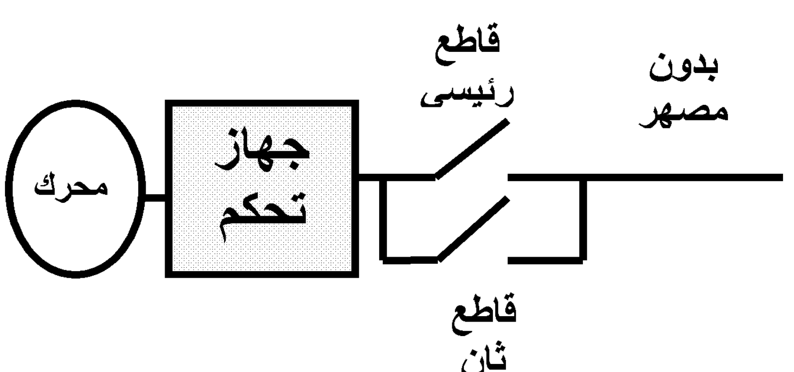
بالرغم من أن هذه الدوائر قياسية إلا أنه عند التنفيذ تظهر عدد من المشكلات التطبيقية فمثلا قد نحتاج إلي التعامل مع مضخات المياه وهي التي غالبا تكون مضخة واحدة لعدد من المشتركين (المقيمين) في وحدات سكنية متغايرة، فالشكل رقم 8 – 11 يبين الدائرة الكهربائية لمحرك كهربائي له قاطع مزود بوقاية زيادة التيار بدلا من المصهر (الشكل رقم 8 – 11، أ) أو في وجوده أيضا (الشكل رقم 8 – 11، ب).

في مثل هذه الحالة إذا لم يتواجد المصهر الموجود بالرسم (الشكل رقم 8 – 11، أ) سيتعرض المحرك لذات العيوب السابق الحديث عنها بالنسبة للكابلات المتوازية. كما أنه من الضروري التركيز هنا علي أن المحركات لا يتم توصيلها علي التوازي لأنه محرك وحيد، ولكن التوازي هنا للمفاتيح (القواطع) حيث أن كل مشترك يحتاج إلي تشغيل هذه المضخة عند الحاجة إليها.

في حالة تشغيل مفتاحين رئيسيين علي التوازي فيكون لدينا حالتين:

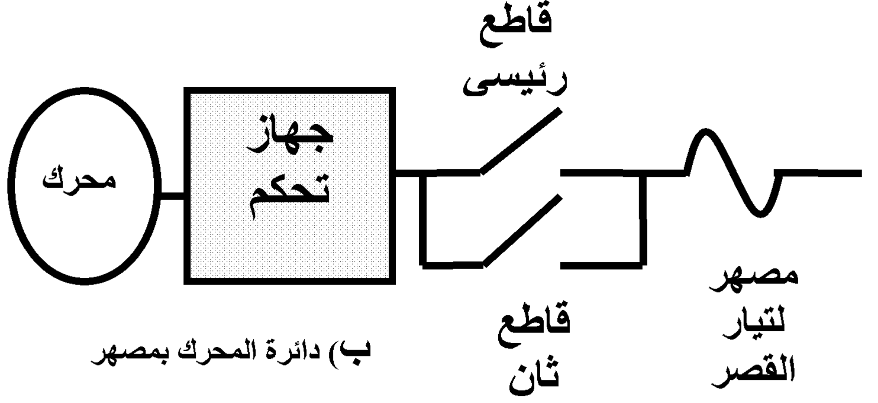
1- مفتاح واحد موصلا Single Switch Closed

في هذه الحالة تعتبر الدائرة صحيحة ولا غبار علي تشغيلها لأنها مطابقة للمواصفات القياسية وطرق التشغيل والحماية مقننة ونمطية، وهذا ينطبق علي أي من القاطعين (الأول أو الثاني). وهذه الحالة تعتبر مثالية إذا ما كانت هي الموجودة فعلا.



أ) دائرة المحرك بدون مصهر (القاطع مزود بحماية زيادة التيار)

2- المفتاحين موصلين Double Switch Closed



ب) دائرة المحرك بمصهر

الشكل رقم 8- 11: تشغيل التوازي للقاطع في دائرة محرك كهربي وحيد

تعتبر هذه الحالة من الحالات الخطرة والتي تحتاج إلي تقويم حيث يعمل القاطعين معا علي التوازي وحيث أن مقاومتهما متساوية فيتم توزيع التيارات بين القاطعين بالنسبة العكسية للمقاومات، أي تكون التيارات متساوية بينهما. في مثل هذا الوضع نجد أن تيار القصر أو مقنن القاطع يختلف عن ذلك النمطي للدائرة لأن كل مفتاح منهما يحمي الحمل الكامل بينما هو يعمل علي نصف القيمة كما سبق التنويه بالنسبة للكابلات. هذا التشغيل خطأ ويلزم تعديله كما سوف نشرحه لاحقا.

2- وقاية تجاوز الحمل Over Load Protection

هذا الوضع قد يتفاقم عند التعامل مثلا مع مضخة مياه في عمارة سكنية إذا ما تم توصيل مفتاح علي التوازي لكل مستهلك منهم وبالتالي تقل قيمة التيار المار في المفتاح بالنسبة العكسية لعدد القواطع الموصلة علي التوازي، وذلك طبقا لقانون كيرشوف للدوائر الكهربائية ، وهنا تكمن الخطورة. موضع هذه الخطورة ينحصر في محورين كما سبق البيان بالنسبة

للكابلات وهما محور زيادة التيار (القصر) ومحور تجاوز الحمل (الشكل رقم 8 – 10) حيث تتزايد القيمة جدا بضعف عدد القواطع وتكون القواطع بلا فعالية في بعض الأحيان.

يتكرر وضع تجاوز الحمل الخطأ وإنهيار الوقاية Protection Failure الأصلية نتيجة لتوزيع الحمل المقنن الكامل Full Loadعلي مفتاحين أو أكثر وبالتالي نبتعد تماما عن نقطة الأداء الرئيسية علي أي من هذه المفاتيح الكهربائية ولذلك يجب أن يوضع مفتاح وحيد رئيسي علي التوالي مع المفتاح الذي تضاعف علي التوالي كما هو مبين في الشكل رقم 8 – 12. هكذا يكون المفتاح الرئيسي هو العامل بخاصية تجاوز الحمل كوقاية أما بقية المفاتيح فهي في الدائرة الكهربائية مثل السكاكين الكهربائية Disconnecting switches.

يتم السيطرة علي هذه الأوضاع بالأسلوب الهندسي والمحدد لدائرة محرك كهربائي وحيد متكاملة عديدة القواطع كما جاءت في الشكل رقم 8- 12والذي يتضح منه أن القواطع المتعددة لا تستخدم كقواطع كهربائية بل تستخدم مثل السكاكين الكهربائية عند كل مشترك ولكن الإعتماد الأساسي علي القاطع الرئيسي والذي يتم توصيله علي التوالي مع جميع المفاتيح الكهربائية الخاصة بالمشتركين. من الجهة الثانية يقوم المصهر في الدائرة كما في الشكل رقم 8 – 11 (ب) بنفس العمل ويقوم بنفس الخصائص.

أما بالنسبة للوقاية من تجاوز الحمل فلا يمكن للمصهر أن يقوم بهذا العمل بل سوف يحتاج إضافة إلي ذلك المصهر مفتاح رئيسي أيضا يتم توصيله علي التوالي ولهذا نجد ان الوضع الأمثل في هذه الحالات يظهر في الدائرة المحددة بالشكل رقم 8 – 12.

3-8: مكونات الدوائر الكهربائية الفرعية
The Components of Electric Branch Circuits

من أهم الدوائر الكهربائية الفرعية المتواجدة علي الساحة التطبيقية تأتي الدوائر الكهربائية للمحركات Motor Branch Circuits ووسائل التحكم Control والوقاية Protection بها، خصوصا وأنه سبق شرح منظومة الوقاية الخاصة بها. من ثم يجب أن نتطرق إلي وسائل التشغيل الخاصة بدوائر الوقاية، ولذا نحن هنا نأخذ الوسائل القياسية للتشغيل والتي تتمثل في البادئ Starter - وهو عبارة عن مجموعة نبائط قفل وتتكون غالبا من وقاية تجاوز الحمل - كما أن هذه الوسائل تساعد علي:

محرك
جهاز تحكم
قواطع عديدة
قاطع رئيسي

الشكل رقم 8- 12:
دائرة محرك كهربي وحيد متكاملة عديدة القواطع

1- بدء حركة المحرك
Starter

2- تعجيل Acceleration
تحريك المحرك كي يصل إلي السرعة المقننة بسرعة بالغة أي في أقصر وقت ممكن.

3- ضمان التشغيل الدائم للمحرك Continuous Operation

4- قطع تيار التغذية إذا لزم الأمر Automatic Tripping

أولا: أدوات بالدوائر الكهربائية Circuit Tools

الدوائر الكهربائية تعمل من خلال بعضا من الأدوات والأجزاء الرئيسية يأتي أهمها في كل من الدوائر الكهربائية بالشبكات ذات الجهد العالي أو المنخفض مثل المفاتيح والسكاكين الكهربائية ، بينما تظهر أهمية أخري في الدوائر الكهربائية الفرعية بجانب المفاتيح مثل البرايز والأسلاك وغيرها ومن ثم كان هاما أن نتعرض لهذه المكونات بشكل موجز من حيث النظرة الوقائية كما نسطرها في ما هو تال.

1- المفاتيح الكهربائية Circuit Breakers

تعتبر المفاتيح الكهربائية من اهم المكونات الكهربائية فى الشبكات داخل الابنية حيث انها تقوم بالفصل التلقائى عند احساس الخطا فى الشبكة علاوة على انها تحمى الاجهزة الكهربائية سواء هذه التى تخص شركة الكهرباء او تلك التى يمتلكها المستهلك ولذلك فانها من اول المهمات التى نعتمد عليها فى الشبكة الكهربائية للتوزيع وبالتالي في الدوائر الكهربائية الفرعية.
فى الماضى كان يعتمد النظام الوقائى للشبكات عموما عند الجهود المتوسطة والمنخفضة فى الابنية على استخدام اسلوب آخر غير هذا وهو ما يعرف باسم (السكاكين الكهربائية) ولكن هذه السكاكين لا تصلح للفصل التلقائى بل كان النظام يعتمد على تركيب مصهرات على اطراف هذه السكاكين وبالتالى عند حدوث القصر يتم انصهار المصهر وتنفتح الدائرة الكهربائية ويتم الفصل التلقائى ايضا.

كما ان هذه السكاكين الكهربائية لم تنقرض تماما من الساحة التطبيقية في مجال التركيبات الكهربائية ، بل متواجدة باستمرار بالرغم من ظهور النظم الاحدث والتى نعرفها بالمفاتيح الكهربائية. وبالرغم من ان السكاكين الكهربائية تعتبر طرازا قديما الا ان العاملين فى حقل الكهرباء من القدامى يفضلون استخدامها لانهم يرون فيها الميزة الهامة الأكبر فى ضرورة الفصل الكهربائى لها قبل مغادرة المكان وتكون هذه من اهم نقاط الامن.

تعتبر التكلفة الاقتصادية عند الشراء من اهم مميزات السكاكين الكهربائية حيث ينخفض سعرها عن تلك المثيلية من المفاتيح الكهربائية الحديثة والمتداولة فى الاسواق بكثرة ولكن هذه الميزة الاقتصادية لا تعطى السكاكين الكهربائية المزايا كلها فان التطوير مطلوب وامان الاشخاص يوضع على اول الدرجات الأمنية وحماية للبشرية فضلا على امان المعدات ايضا.

فى جميع الاحوال فان التعامل مع كليهما سواء المفاتيح او السكاكين يخضع للمواصفات والتعليمات الصادرة فى شانهما من جانب الامان لأنهما يمثلان المكان الأهم داخل الدائرة الكهربائية والذى يحمى باقى الاجزاء وتقع علية المسؤلية المباشرة فى التخلص من الاخطاء التشغيلية. لذلك يكون من الضرورى الاهتمام بالتعامل مع المكونات الكهربائية وخصوصا مع تلك الاجزاء الحيوية مثل المفاتيح الاوتوماتيكية والسكاكين الكهربائية حيث يجب العمل على:

أ) التاكد من سلامة المفاتيح والسكاكين.

ب) التاكد من سلامة عزل المنطقة عن كلا من اللعب واللهو وبعيدا تماما عن عبث الاطفال.

يقدم الجدول رقم 8 - 4 بيانا بالفروق الجوهرية بين الإعتماد علي كلا من القواطع والسكاكين الكهربائية من أجل المقارنة بين المفاتيح الكهربائية والسكاكين الخاصة بالشبكات الكهربائية داخل الابنية الضخمة والصغيرة بالاضافة الى الاستخدامات الصناعية والتجارية وغيرهم.

الجدول رقم 8 – 4: المقارنة بين المفاتيح الكهربية والسكاكين الخاصة بالتركيبات الكهربائية داخل الابنية

الموضوع	السكاكين الكهربائية	المفاتيح الكهربائية
نظام التشغيل	يدوى	آلى / يدوى
تحريك اطراف التوصيل	يدوى	آليا
امكانية قطع الشرارة	لايمكن عموما	ممكن
الخطورة على الافراد	خطر	امان
الحجم المكانى	كبير	صغير
الاحتياج لغطاء	يحتاج بالضرورة	يحتاج للمنظر العام
اماكن التركيب	اماكن بعيدة	فى اى مكان
اضافة المصهرات	اساسى	لا يحتاج
الحجم ذاتة	كبير	صغير
الوزن	ثقيل	خفيف

2- البرايز والفيشات Sockets & Plugs

تستعمل البرايز والفيشات Plugs في الدوائر الكهربائية الفرعية من أجل الوصل الكهربي للأحمال الكهربائية المختلفة مثل المصابيح بكافة تطبيقاتها والمعدات بكل أنماطها وكذلك الاجهزة الكهربائية المنزلية القابلة للنقل بالينبوع اتصالا مؤقتا مع مصدر التغذية الرئيسي. لهذا نجد أن هذه الأدوات هي أكثر إنتشارا في الدوائر الكهربائية الفرعية المنزلية وهي مصنعة - دائما وبالضرورة - بقيم قياسية للتيار شدتة المقننة هي 2 او 5 او 10 او 15 او 20 او 25 او 30 امبير علي الجهد 220 ف (240 ف).

ينصح عادة بعدم قطع (فصل) الدائرة الكهربائية الفرعية عن طريق شد الفيشة (جذبها) من البريزة Sockets للتيارات التى تزيد عن 5 امبير، لأن ذلك يتسبب في ظهور شرارة كهربائية قد تصل إلي حد الخطورة مما قد يصل بنا إلي صهر النحاس الموصل. علي الجانب الآخر يجب دائما قطع الدائرة فى هذه الحالات بواسطة مفتاح (قاطع)، حيث أنه لضمان ذلك يتم تركيب مفتاح على البريزة ذاتها بحيث لا يمكن توصيل او فصل الفيشة الا مع وجود المفتاح في الدائرة كقاطعا كهربائيا للدائرة.
كما تطورت تقنية تصنيع الفيشة حديثا بحيث يكون الموصل خارجا من البريزة من الجانب حتي يصعب شدها من الموصل، مما شد الفيشة نفسها فلا تحدث شرارة تتناولها الايدى. كما يوجد فى هذه الأنواع حلقة حاجزة متسعة تمنع تأثيرات الشرارة الكهربية اذا ما حدثت وتصنع الفيشة من عازل متين ولا يستعمل الصينى لأنه عرضة للكسر.
يفضل أن تكون البريزة من الصينى او البكاليت لأنهما أجود العازلات الفعلية في هذا الصدد كما يمكن أن تغطى بخشب متين ويجب ملاحظة ألا تكون الاطراف المعدنية للموصلات عرضة للتلامس مع الأفراد المستخدمين لها بل يجب أن تكون مختبئة تماما تحت سطح العازل وذلك طبقا للمواصفات القياسية الدولية.

تستعمل البرايز والفيشات وحيدة الطور ذات ثلاثة اطراف (الطور وموصل التعادل وموصل التأريض)، كما يجب أن تكون الابعاد بينها غير متساوية حتى لايمكن توصيلها الا بطريقة واحدة فقط حيث الطرفان بالدائرة الفرعية يتصلان بنظيريهما بينما الموصل الثالث يتماشي بأبعاده الهندسية مع خط الارض وهو السلك المتصل بالاجزاء المعدنية بالجهاز (المعدة) الكهربى المستعمل وبذلك نضمن الوقاية اذ ان تلك الاجزاء عرضة دائما للتلامس ـ فلو حدث قصر بداخل جهاز ما فان

جهدها قد يرتفع لدرجة خطرة وبعض البلدان كما سبق الشرح في البند السابق تحتم توصيل تلك الاجزاء للاجهزة بالارض عندما تعمل علي مقنن جهد يزيد عن 100 فولت .
في كثير من الأحيان يحتاج المستهلك الى توصيل اكثرمن جهاز الى بريزة واحدة وذلك عن طريق الإستعانة ببعض الوصلات (الموصلات) الخاصة (التي تعرف وتسمي باسم المشترك)، وفى هذه الحالة يجب مراعاة الا يزيد مجموع التيارات العاملة في وقت واحد لهذه الاجهزة عن تيار البريزة ولو انة يستحسن استعمال بريزة لكل جهاز حيث يكون المقنن ثابتا وتلافيا لمبدأ النسيان البشري.

ثانيا: وسائل البدء للمحركات Concepts of Starting

أهم ما يمكن التعامل معه بحرص في تشغيل المحركات هو كيفية بدء الحركة وذلك بسبب الحاجة الكبيرة لوجود العزم الشديد الذي يساعد علي تحريك الكتلة الساكنة وهو من سمات تشغيل المحركات الكهربائية ، إضافة إلي ذلك نجد أن هذه الوسائل العديدة للبدء تزيد وتتزايد كل فترة ومنها الأنواع التالية:

النوع الأول: البادئ المباشر Direct On Line Starter

يتم فيه توصيل الجهد كاملا علي أطراف المحرك عن طريق البادئ مرة واحدة، وهو مناسب للمحركات ذات عزم عالي للبدء. يلائم هذا البادئ المحركات الكهربائية الصغيرة وهي ما تقل عن 10 حصان، حيث يمكن تلافي زيادة التيار أو إنخفاض الجهد أثناء البدء. يمكن تشغيل ذلك البادئ لإدارة المحرك في إتجاه واحد، أو إتجاهين وفي بعض الحالات الأخري كما سيتم بيانه في بعض من الأنواع التالية. كما أن الجدول رقم 8 – 5 يدرج المواصفات القياسية لبادئات الحركة المباشرة للمحركات ثلاثية الطور جهد 400 ف وذلك علي التيار *D.O.L.* تبعا لنوع التوافق رقم 2.

1- البادئ العاكس Reversing Starter

يتم التوصيل المباشر أيضا مع هذا البادئ مع إمكانية عكس إتجاه الدوران وهو مناسب للمحركات ذات القفص السنجابي، بينما يحتاج المحرك بالعضو الدوار الملفوف إلي زيادة عدد حلقات الإنزلاق مما يزيد من تكلفة هذا البادئ في هذه الحالة بجانب التعقيد الهندسي المرافق لهذا.

2- بادئ المحرك متعدد السرعات Multi Speed Starter

يتم التوصيل المباشر أيضا كما يلزم تغيير عدد أقطاب المحرك لتغيير السرعات وهذا سهل مع محركات القفص السنجابي مثل ذلك العاكس، أما بالنسبة للعضو الدوار الملفوف يتبع نفس النظام الخاص بالبادئ العاكس فنيا وتكلفة. كما انه جدير بالذكر أن المواصفات القياسية الخاصة بالقاطع الآلي (بمحرك) والذي يعمل علي أساس الفصل الحراري والمغناطيسي وذلك للمحركات الكهربائية ثلاثية الطور جهد 400 ف قد أدرجت في الجدول رقم 8 – 6 حيث تم توضيح مقننات مدي الضبط لكلتا الحالتين أي الفصل الحراري والفصل المغناطيسي.

3- البادئ ذو الإتجاهين Double Direction Starter

هنا أيضا يتم التوصيل المباشر علي كامل الجهد وهو يعمل [اتجاهين للحركة من خلال عكس إتجاه تتابع الأطوار لملفات العضو الثابت.

الجدول رقم 8 – 5: بادئات حركة مباشرة علي التيار بنوع التوافق رقم 2 (محركات ثلاثية الطور جهد 400 ف)

مجموعة بدء		ثنائي	مجموعة بدء		ثنائي	ثلاثي
مقنن ك.و.	مدي ضبط أ	تيار قصر ك. أ.	مقنن ك.و.	مدي ضبط أ	تيار قصر ك. أ.	
rating	**Setting**	**Iq**	*rating*	**Setting**	**Iq**	
0.37	1.6 – 1	130	15	40 – 25	35	70
0.55	2.5 – 1.6	130	18.5	40 – 25	35	70
0.75	2.5 – 1.6	130	22	63 - 40	35	70
1.1	4 – 2.5	130	30	63 - 40	35	70
1.5	4 – 2.5	130	37	80 – 56	35	70
2.2	6.3 – 4	130	45	100 – 60	35	70
3	10 - 6	130	55	100 – 60	35	70
4	10 - 6	130	75	150- 90	35	70
5.5	14 - 9	130	90	220 – 132	35	70
7.5	18 – 13	50	110	220 – 132	35	70
9	23 – 17	50	132	250	45	70
11	25 - 20	50				

النوع الثاني: البادئ بجهد مخفض Reduced Voltage Starter

نحتاج بالضرورة إلي التحريك الأسهل لجزء المحرك الدوار ومن ثم تتباين الإستيراتيجيات الهادفة لتحريك الجزء الدوار من وضع السكون ولهذا يستخدم في هذا النوع المبدأ الأساسي وهو تقليل تيارات البدء حيث يتم زيادة الجهد تدريجيا، وفيه يتناسب كلا من العزم والتيار مع مربع نسبة خفض جهد المحرك. لذلك يكون مناسبا للحد من تيارات الإندفاع (البدء) مع قلة العزم، وهو ينحصر في نوعين:

تظهر الأهمية لتحديد نوعية الفصل مع القواطع علي جهد التشغيل حيث أنها إما أن تعمل بالفصل الحراري أو بالفصل المغناطيسي وهو ما يهم دوائر الوقاية من حيث سبل تشغيل المحركات والتحكم في دوائرها الفرعية.

1- البادئ نجمة / دلتا　　Star / Delta Starter

إنه يبدا بتوصيلة النجمة والتي تتحول إلي الدلتا بعد ذلك وهي التوصيلة الدائمة أثناء التشغيل. وهذا النظام لا يسمح بعكس إتجاه الدوران. كما أن الجدول رقم 8 – 7 يعرض بعضا من مقننات بادئات الحركة وذلك للمحركات الكهربية ثلاثية الطور علي الجهد 400 ف مع إستخدام البادئات بنظام نجمة / دلتا مع إستخدام ملامسات عكسية جهد 400 ف ثلاثية الطور.

الجدول رقم 8 – 6: مقننات القاطع الآلي (بمحرك) للفصل الحراري والمغناطيسي (محركات ثلاثية الطور جهد 400 ف)

المقنن ك.و.	مدي الضبط أ	المقنن ك.و.	مدي الضبط أ	
	فصل حراري		فصل حراري	فصل مغناطيسي
0.06 ≥	0.16 – 0.1	7.5	23 – 17	
0.06	0.25 – 0.16	9	23 – 17	
0.09	0.4 – 0.25	11	25 – 20	
0.012	0.63 – 0.4	15	32 - 24	40
0.25	1 – 0.63	18.5		40
0.37	1.6 – 1	22		65
0.75	2.5 – 1.6	25	100 – 25	65
1.1	6.3 – 4	30		
2.2	10 – 6	35	220 - 90	
3	14 – 9	37		80
5.5	18 – 13	70	220 - 25	

الجدول رقم 8 – 7: مقننات بادئات الحركة من الطراز نجمة / دلتا مع ملامسات عكسية جهد 400 ف ثلاثية الطور

مقنن		مقنن تيار (أ)	مقنن		مقنن تيار (أ)
حصان	ك. و		حصان	ك. و	
5.5	4	9	30	22	50
7.5	5.5	12	40	30	65
10	7.5	18	50	37	80
15	11	25	60	45	95
20	15	32	75	55	115
25	18.5	40 -38	100	75	150

2- البادئ بمحول ذاتي ذو خطوتين Double Step Auto Transformer Starter

علي الطريق الآخر نجد أن من الضروري تغيير الجهد مرحليا عند بدء تحريك العضو الدوار في المحرك ومن ثم نجد أنه في هذا النوع يستخدم المحول الذاتي من أجل خفض جهد التغذية في البداية بينما يتم الوصول إلي جهد التغذية الكامل علي خطوتين. ولا يصلح هذا البادئ للإيقاف السريع أو للتشغيل المتذبذب.

النوع الثالث: بادئ بمقاومة متغيرة بدائرة الدوار Rheostat Rotor Starter

يستعمل هذا النوع مع المحركات التأثيرية من النوع الملفات الملفوف، حيث تدخل مقاومة كاملة مع ملفات العضو الدوار أثناء البدء فقط ثم يتم عزلها خارج الدائرة تماما. كما يلزم ألا يتجاوز الجهد علي حلقات الإنزلاق عن ضعف جهد عزل نبائط الفصل والتوصيل العاملة بالدائرة الكهربائية ، ولذلك يتكون هذا البادئ من أربعة أجزاء هي:

الجدول رقم 8 – 8: خصائص مرحلات تجاوز الحمل ذات زمن التأخير عند تغذية كل أقطابها

النظام ثلاثي الطور	نوع المتمم	ضبط التيار للأوجه الثلاثة				حرارة المحيط°م
		A	B	C	D	
متماثل	مغناطيسي أو حراري غير معادل لتغير درجة حرارة الوسط المحيط	1	1.2	1.5	7.2	40+
	الحراري المعادل لتغير درجة حرارة الوسط المحيط	1.05	1.2	1.5	7.2	20+
غير متماثل	الحراري المعادل لتغير درجة حرارة الوسط المحيط، ولا يتأثر بسقوط أحد الأطوار	1 1 1	1.32 1.32 1			20+
	الحراري غير المعادل لتغير درجة حرارة الوسط المحيط، ولا يتأثر بسقوط أحد الأطوار	1 1 1	1.25 1.25 00			40+
	الحراري المعادل لتغير درجة حرارة الوسط المحيط، ويتأثر بسقوط أحد الأطوار	1 1 0.9	1.15 1.15 00			20+

1- نبيطة للفتح والقفل الميكانيكي لتغذية ملفات العضو الثابت
2- مقاومة ثلاثية الطور
3- نبائط ميكانيكية للفتح والغلق
4- وقاية تجاوز الحمل

النوع الرابع: البادئ بوقاية آلية Protected Starter

هو عبارة عن البادئ ومعه نبائط الفتح والغلق مع الوقاية ضد القصر وضد تجاوز الحمل. هكذا يتبع نظام الوقاية الخاص بالقاطع وكذلك بالبادئ مع الدوائر الكهربائية الفرعية للمحركات ونورد في الجدول رقم 8 – 8 بعضا من خصائص المتممات الوقائية للعمل بوقاية تجاوز الحمل مع التأخير الزمن التمييزي وذلك عند تغذية كل الأقطاب.

إن جميع القراءات الواردة في هذا الجدول تتبع المواصفات القياسية الدولية كما أنها قد ضمنت داخل المواصفات القياسية المحلية لكل دول العالم تقريبا. كما أنه علي نفس السياق يأتي الجدول رقم 8 – 9 بمقننات الفصل الزمني نتيجة غمز الوقاية الآلية بتجاوز الحمل في الحالتين الحرارية والمغناطيسية وذلك تبعا للتيار D الوارد في الجدول رقم 8 – 8.

الجدول رقم 8 – 9: زمن الفصل للمتممات لتجاوز الحمل (الحرارية والمغناطيسية)

مصنف الفصل	زمن الفصل (ث) تبعا لتيارللتيار D	مصنف الفصل	زمن الفصل (ث) تبعا لتيارللتيار D
10A	10 > t ≥2	20	20 > t ≥6
10	10 > t ≥4	30	30 > t ≥9

النوع الخامس: البادئ المختلط Combination Starter

هو عادة بادئ من النوع المغلف تماما ويكون بداخله المكونات نبيطة فتح وغلق الدائرة وهي التي يجب أن تعمل يدويا من خارج الغلاف. علاوة علي ذلك يلزم إضافة وقاية ضد تيار القصر ويمكن أن يكون مفتاحا بمصهر أو قاطع آلي.

النوع السادس: البادئ ذو الخطوة أو خطوتين أو متعدد الخطوات 1, 2, or n- Step Starter

يوجد حالتي التعجيل وعدمه ففي الخطوة الواحدة لا يتواجد وضع التعجيل بينما في الخطوتين (بادئ نجمة / دلتا) يتم التعجيل مرة واحدة، أما المتعدد فيكون ذلك علي مجموعات مرحلية للتحكم في عدد السرعات المطلوبة.
يمكن وضع أصناف البدء أيضا بشكل مختلف من حيث نوعية القوة اللازمة لأداء نقاط التلامس الرئيسية في الملامس كم هو آت:

1- البادئ اليدوي Manual Starter
2- البادئ ذو التشغيل بالهواء المضغوط Pneumatic Starter
3- البادئ ذو التشغيل بالهواء المضغوط والكهربائي Electro-Pneumatic Starter
4- البادئ الكهرومغناطيسي Electro Mechanical Starter

ثالثا: خصائص البدء Starting Characteristics

نظرا لتنوع المواصفات الفنية وأختلافها من تطبيق لاخر تم عمل بحث عن بعض المواصفات العالمية مثل IEC standard لبادئات الحركة والقواطع الكهربائية ذات الجهد المنخفض شاملة أنواع مختلفة بمعدلات قدرة مختلفة. كما يعتبر المحرك التأثيري ذو القفص السنجابي من أكثر معدات القوى الكهربائية احتياجا إلى تنظيم أدائها . إضافة ألى أن هذه المحركات هي الأكثر شيوعا في الاستخدام لتوفير الطاقة المحركة الصناعة المختلفة.

هكذا نجد أن خصائص البدء لتشغيل المحركات الكهربائية علي وجه العموم تتأثر بوضوح بالأسلوب الخاص بالبدء ومن ثم ندرج أسس البدء لتشغيل محركات القفص السنجابي تعتمد علي أسس علمية نوجزها في سياق البنود التالية:

البند الأول: وظائف البادئات Starter Duty

عادة ما يتم التحكم في هذة المحركات عن طريق بادئات الحركة (المقومات) وعلى المختص أن يأخذ في الاعتبار نقاط أساسية تفي بالتحكم و الحماية التامة للمحرك ذاته إضافة إلي العاملين على تشغيلة و صيانتة، وقد عرفت المواصفات القياسية العالمية ذات الرقم IEC 947 تلك الوظائف الأولية والتي يجب أن تحققها بادئات الحركة للمحركات الكهربائية (MOTOR STARTERS) وهي التي تنحصر في أسس جوهرية هي:

1- العزل عن التغذية ومصدرها Supply Isolation

2- الوقاية الآلية للمحرك Automatic Protection for a Motor

3- فصل وتوصيل المحرك داخل الشبكة الكهربائية

Motor Switching in a Network

4- التأكد وضمان التوافق التام بين العناصر الثلاث السابقة

Checking a Synchronism for the Three Above Items

البند الثاني: مجموعات البادئ Starters Groups

تتم عملية البدء للمحركات الكهربائية عموما علي مستويات متعددة وبسعات مختلفة ومتباينة قد تصل بالقدرة الكهربائية حتى 30 كيلووات عند جهد التوزيع (أي الإستهلاك العادي) والمساوي لجهد 415/400 فولت للتيار المتردد وبذبذبة مقننة إما 50 أو 60 هيرتز، وتدخل هذه العملية من خلال مجموعات ثلاث هي:

1- البدء اليدوي المفرد Single Manual

يتكون البدء اليدوي من عناصر الفصل من قاطع وملامس وحماية تجاوز الحمل

2- البدء المزدوج Double Starting

يشمل البدء الآلي المزدوج من خلال إضافة وقاية آلية لما سبق في الأسلوب اليدوي وهو الحماية ضد القصر

3- البدء الثلاثي Triple Starting

في هذا انظام الآلي يكون النظام مكونا من القاطع والملامس وتجاوز الحمل الحراري والمغناطيسي بجانب الوقاية ضد تيار القصر، في هذه الحالة تكون بادئات حركة المحرك الالية مجهزة بوقاية من زيادة الحمل عن طريق ريلاي حراري ضد زيادة الحمل over load بالاضافة الى كونتاكتور و قاطع تيار للحماية ضد تيار القصر فقط.

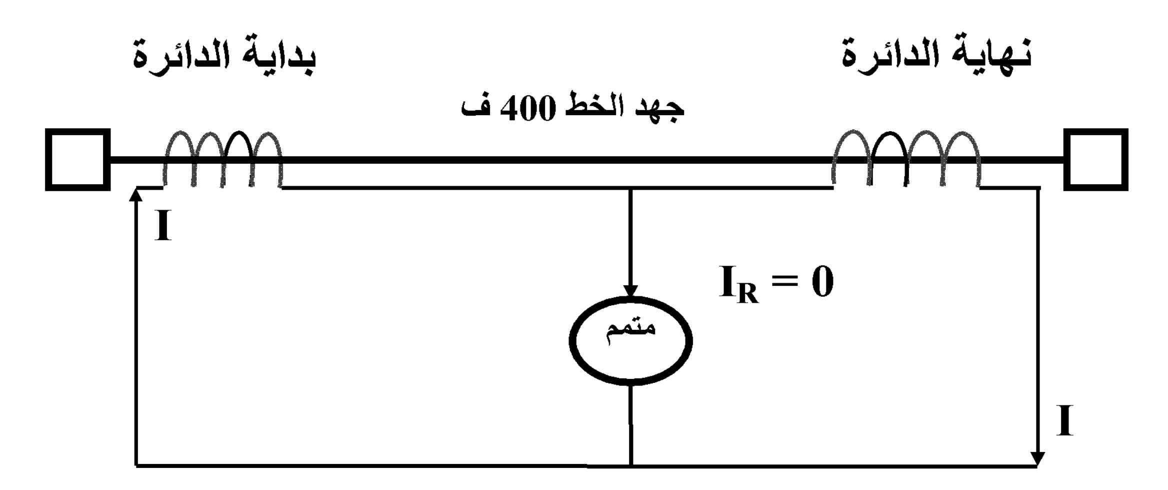
البند الثالث: بعض مقننات أساليب البدء Starting Concepts

تخضع البادئات الخاصة بالمحركات للمواصفات القياسية الدولية مما يتيح الفرصة للمتخصص كي يحصل علي المعلومة بسهولة ليس عند أعمال التصميم وحسب بل وأثناء أعمال التنفيذ الموقعية أيضا.

8– 4: الوقاية التفاضلية للدوائر الفرعية
Differential Protection of Branch Circuits

نتطرق الآن إلي الوقاية التفاضلية بمعني المقارنة وهي المعروفة باسم ميرز – بريز (Merz - Price) نسبة إلي العالمين الذين أسسا هذا المبدأ في التوازن بين طرفي الدائرة الواحدة. يتم ذلك عن طريق موصلات المقارنة والتي تتواجد في الدائرة الثانوية، ومن ثم نضع هذه التقنية من خلال الطرق المتبعة عمليا في هذا المجال.

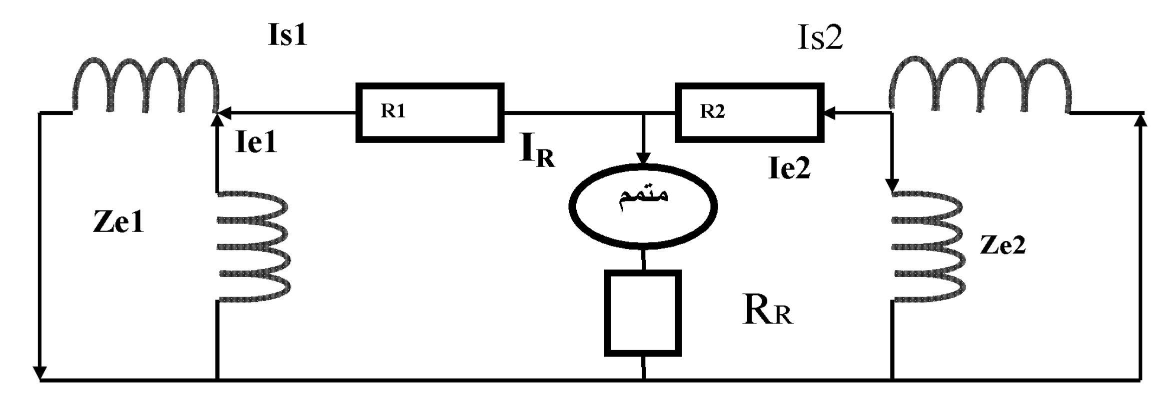
هناك أسلوبان للعملية التفاضلية وهي من الأسس وقد سبق التعرض لها من قبل ولكننا الآن ندخل بأسلوب مغاير عن السابق من حيث أننا نضع هذه المفاضلة الوقائية بصنفين من الدوائر وهما:



الشكل رقم 8- 13 : الدائرة التفاضلية بنظام التيار الدائر

الطريقة الأولي: التيار الدائر Circulating Current

هذه الطريقة هي المعروفة والسابق ورودها (الشكل رقم 8- 12) حيث أنها تخضع لنظرية كيرشوف للتيار الدائر داخل الحلقة الواحدة. هذا يعني أن التيار المار بالمحول عند بداية الخط يدور في الحلقة الخاصة بالدائرة الثانوية وعندما يصل إلي الفرع الذي يحتوي علي المتمم يتفرع بين الأثنين، ولكن في ذات الوقت يأتي التيار من محول التيار الموجود عند نهاية الخط ليتفرع هو الآخر. لكننا بهذا الوضع نجد أن كلا من التيارين متساويين ويمران في نفس الإتجاه أي أن التيار القادم من محول التيار يستمر في حركته في الحلقة ليكون هو ذاته المار في المحول الآخر. هذا يؤدي إلي أن التيار المار في المتمم سوف يساوي الصفر، ولهذا السبب نجد أنه إذا ما كان هناك قصر في الدائرة الأصلية ينتج فارقا بين التيارين المارين في محولي التيار وهو ما سوف يمر في فرع المتمم فيعمل علي فصل الدائرة الأصلية بالأمر التلقائي. من الواضح أن الدائرة الكهربائية المكافئة للدائرة الثانوية الوقائية والتي جاءت في الشكل رقم 8 – 13 تأتي في الشكل رقم 8 – 14 .



الشكل رقم 8- 14: الدائرة المكافئة لحالة التيار الدائر

من هذه الدائرة نحصل علي العلاقة بين التيارات المارة في الدائرة علي النحو:

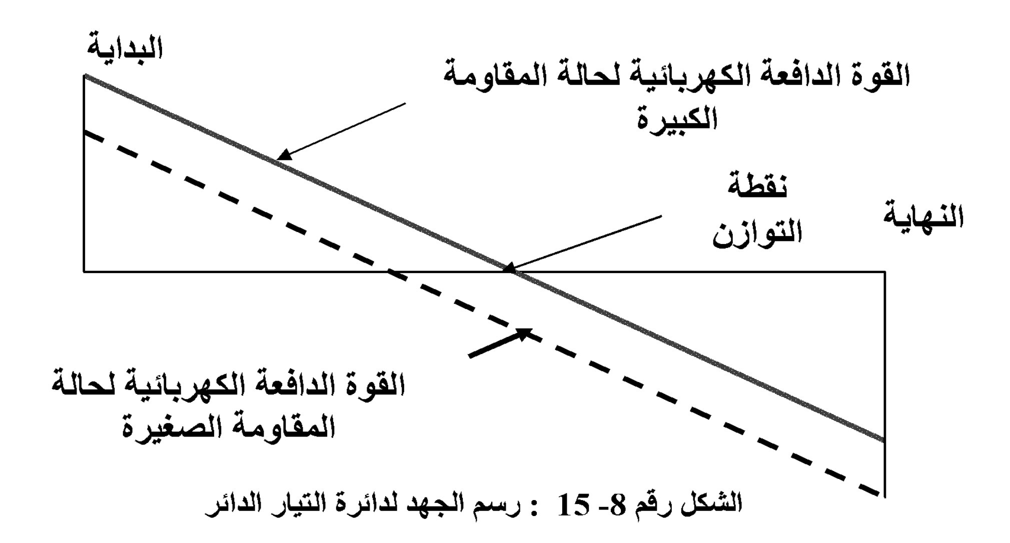
$$I_R = I_1 - I_2 = (I_1 - I_{e1}) - (I_2 - I_{e2}) \quad (8 - 2)$$

عندما يكون محولي التيار متماثلان يكون ذلك ممثلا بالمعادلة الرياضية :

$$I_1 = I_2$$

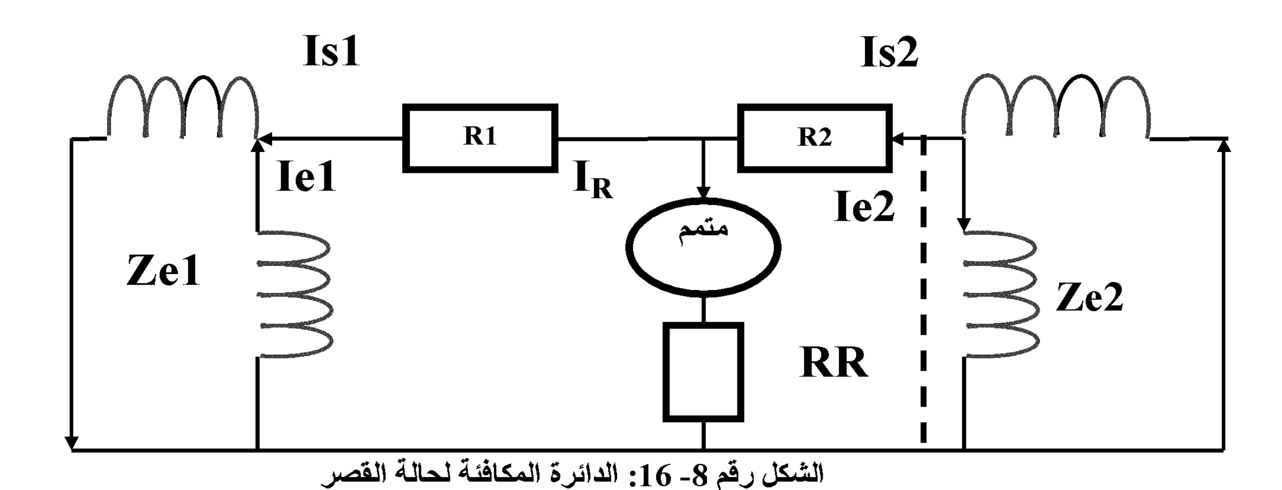
ومن ثم نحصل علي اتيار المار في المرحل بالقيمة:

$$I_R = I_{e2} - I_{e1} \quad (8 - 3)$$



الشكل رقم 8- 15 : رسم الجهد لدائرة التيار الدائر

يظهر مع الدائرة المكافئة في الحالة الموضحة عاليه للدائرة المكافئة في الشكل رقم 8 - 15 البيان التوضيحي لقيمة القوة الدافعة (المحركة) الكهربائية Electro Motive Force في حالتين للمتمم وهما المتمم ذو المقاومة العالية High Resistance او المتمم ذو المقاومة الصغيرة Low Resistance حيث أن المقاومة العالية تعمل علي الفتح الفعلي للفرع الموجود به المتمم فيمنع مرور التيار في المتمم ولهذا نجده مساويا للصفر أو قرب الصفر بينما في حالة المقاومة الصغيرة يمر تيارا بفرع المتمم لأن المقاومة صغيرة ولذلك يكون واجبا ضبط قيمة تشغيل المتمم علي القيمة التي تتواكب مع تغيير الحالة.

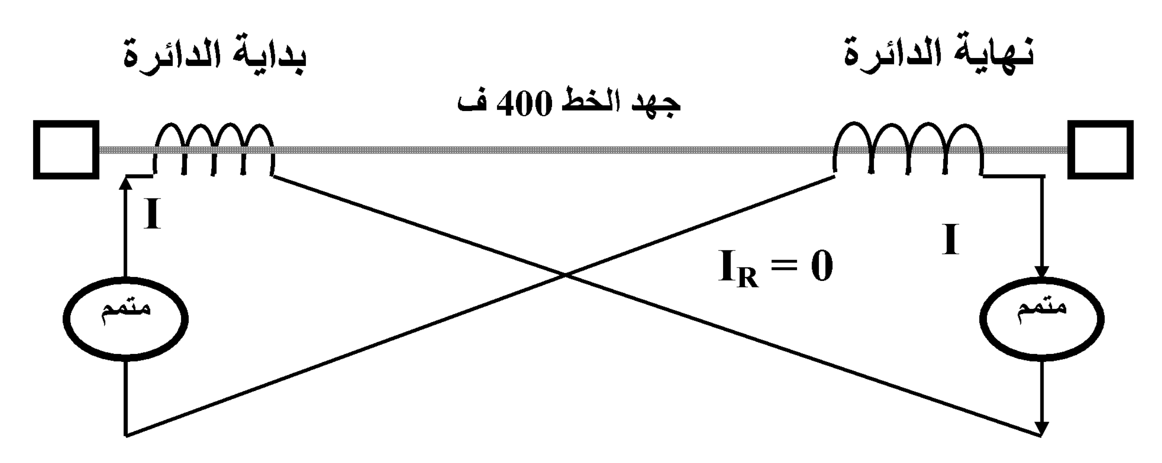


الشكل رقم 8- 16: الدائرة المكافئة لحالة القصر

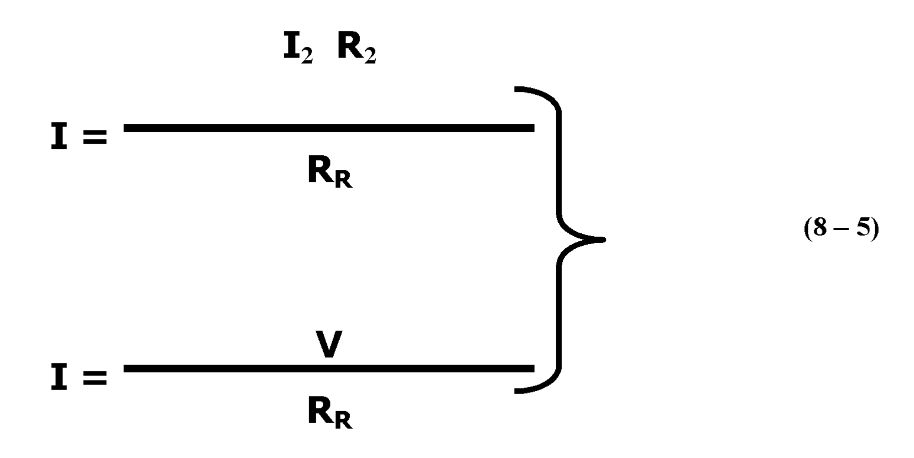
في الحالات الفجائية Transients وتحت ظروفها نجد أنه يظهر قصرا كهربائيا Short Circuit لحالة التشبع في قلب المحول أو التشغيل عند منطقة التشبع Saturation نتيجة إرتفاع قيمة التيار ومن ثم يحدث قصرا في الدائرة الكهربائية مكافئا لهذا القصر مما يجعل الدائرة المكافئة غير مستقرة الوصع (وهي الدائرة الواردة في الشكل رقم 8 – 16)، وهو الأمر الذي يجعل الجهد بطريقة ثفينين Thevenin بالقيمة

$$V = I_2 R_2 \tag{8 - 4}$$

وهو الجهد الذي يمر علي أساسه التيار في المتمم بالقيمة



الشكل رقم 8- 17: الدائرة التفاضلية بنظام إتزان الجهد

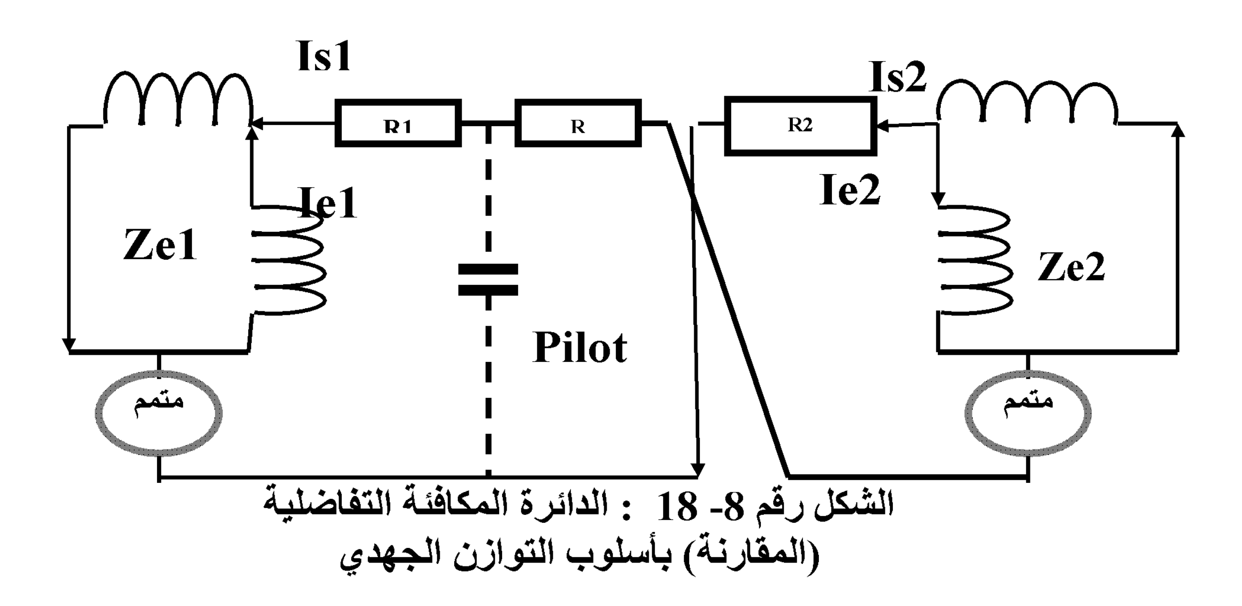


$$\left.\begin{aligned} I &= \frac{I_2 \; R_2}{R_R} \\ I &= \frac{V}{R_R} \end{aligned}\right\} \tag{8 – 5}$$

وهو ما يعني أنه إذا ما كانت مقاومة المتمم صغيرة نسبة إلي للفرع الثاني من الملفات والمقاومات سيظهر الترحل في الفرق بين نقطتي التوازن وهو المعروف بأسم (Spill) وهو ما سبق شرحه من قبل.

الطريقة الثانية: إتزان الجهد Voltage Balance

في هذه الطريقة نتعامل مع ذات الطرفين السابقين ومن خلال محولات التيار أيضا ولكن نعتمد علي المقارنة بين جهدي الناحيتين والذين لا بد وأن يكونا متماثلين تماما في الوضع العادي للتشغيل (أي بدون قصر في الدائرة الأصلية)، هذه الحالة ممثلة بالدائرة الثانوية المبينة في الشكل رقم 8 – 17.
أما عن الدائرة المكافئة لها فهي تلك الواردة في الشكل رقم 8 – 18، وهي متشابهة تماما مع تلك السابقة والتي تتبع نفس إطار الأداء ولكن بأسلوب توازن الجهد.



الشكل رقم 8- 18 : الدائرة المكافئة التفاضلية
(المقارنة) بأسلوب التوازن الجهدي

إمتحانات وتمارين
Examinations & Problems

يختص هذا الفصل من الكتيب بحصر شامل للأنواع المختلفة من المسائل والتمارين الرياضية والهندسية، التي تتعلق بموضع الكتاب باللغة العربية بما قد يضع موضوع الوقاية بشكل متصل المعني، وذلك بدلا من وضع بندا في كل فصل، حيث هنا يمتد التمرين ليكون شاملا أكثر منه متخصصا.

1-9: تمارين Problems

التمارين المدرجة في هذا البند تأتي علي مستويين فالأول يختص بتمارين ومسائل عن كل فصل علي حدة، حيث تأتي التمارين باللغة العربية.

أولا: أسئلة عامة عن بعض الفصول Questions

I- أسئلة عن الفصل الأول

1- ما هي النظم العملية لتوزيع المناطق علي الشبكات الكهربائية الموحدة؟

2- أذكر أسلوب واحد للنظم المتبعة في توزيع مراكز الأحمال وتكلم عنه بالتفصيل.

3- ما هي العيوب التي من الممكن أن تلحق بنظم توزيع مراكز الأحمال؟

4- قارن بين توزيع مناطق الوقاية وبين توزيع مراكز الأحمال عيوبا ومميزات.

5- حدد أهمية تواجد مراكز الأحمال عند الربط الكهربائي العربي.

6- بين السبب الذي يوجب أن تربط الشبكات الكهربائية القومية من خلال الربط متعدد النقاط.

7- أذكر عددا من المزايا للربط الكهربائي بين الدول علي المستوي الدولي.

8- لماذا نحتاج للوقاية في الشبكات الكهربائية؟

9- فسر أهمية الوقاية في شبكات التوزيع الكهربائية.

10- لماذا يلزم تواجد وقاية مع الأجهزة الكهربائية المنزلية؟

11- قارن بين نظم الوقاية المختلفة.

13- اشرح بالتفصيل الدوائر المتتالية في شبكات الوقاية العاملة في شبكة كهربائية موحدة.

14- ضع رؤية مستقبلية لشكل النظم الكهربائية عالميا.

II- أسئلة الفصل عن السابع

1- اشرح بالتفصيل المبادئ الأساسية للتمييز في دوائر الوقاية الخاصة بالشبكات الكهربائية.

2- أكتب عن أسلوب التمييز لوقاية الشبكات الكهربائية.

3- أشرح مع الرسم معني المناطق الميتة في دوائر الوقاية

4- أوجد الفرق بين التمييز الجيد والسيئ في شبكات الوقاية الخاصة بالشبكات الكهربائية.

5- بين الفرق بين أنواع الوقاية المسافية وارسم خصائص التشغيل لكل حالة

6- عرف الفرق بين الوقاية ضد زيادة التيار وبين الوقاية ضد تجاوز الحمل

7- بين ماهية الوقاية البشرية في تشغيل الشبكات الكهربائية.

8- المطلوب تحديد فلسفة قواعد الأمن للعمل داخل محطات الكهرباء

9- أوجد نسبة الحساسية للوقاية التفاضلية علي ملف كهربائي

10- ناقش مع التحليل أسس تأريض نقطة التعادل في نظم القوي الكهربائية.

11- أكتب عن ملف باترسون.

12- اشرح مع الرسم ما يلي: المتممات الساكنة – أسس عمل المرحلات – معني شبكة الوقاية – أسلوب زيادة التيار – الخطأ الكهربائي مع الأرض – الأخطاء المتماثلة في الشبكات الكهربائية - الأخطاء غير المتماثلة في الشبكات الكهربائية.

13- بين العلاقة بين سعة القطع للقواطع وحالات الخطأ الكهربائي في الشبكة المتواجدين بها

14- كيف يؤثر تأريض نقطة التعادل علي سعة القطع للقواطع

15- تكلم عن الخطورة من التأريض في شبكات التوزيع الكهربائية.

16- ناقش مع التحليل مستعينا بالرسم مسألة التمييز في وقاية شبكات التوزيع الكهربائية في المصانع ثم وضح الفرق بين هذا التمييز والتمييز في منظومة الوقاية لشبكات التوزيع الكهربائية في الأبنية المختلفة، ثم حدد الفرق بين وقاية زيادة التيار وتجاوز الحمل خصوصا لدوائر المحركات الكهربائية.

17- ما هو الأفضل استخدام المصهر fuse أم المفاتيح المنمنمة أو الأنواع الكبيرة (حسب الأحوال) CB للحماية الآلية وذلك في الحالات التالية:

أ) في الشبكات المنزلية

ب) في شبكات التوزيع

ت) في نظم القوي الكهربائية.

ث) للمولدات الصغيرة

ج) لمولدات التيار المستمر

د) للمولدات الديزل

هـ) لمحولات القياس

و) لمحولات القدرة جهد 11 kV

18- متي نحتاج إلي التمييز الاتجاهي directional discrimination للقدرة أو التيار في الشبكات الكهربائية ولماذا؟

19- أين تستخدم الوقاية الاتجاهية في نظم القوي الكهربائية.

20- أين نحتاج إلي ازدواج التمييز بين كلا من التمييز الاتجاهي directional protection والتمييز الزمني time discrimination

21- لماذا نحتاج إلي التمييز الزمني في الشبكات الكهربائية القومية.

22- لماذا نستخدم أسلوب التدرج (التمييز المرحلي) للوقاية في الشبكات الكهربائية.

23- ما هو الأهم لدوائر الوقاية: الاختيارية selectivity أم الحساسية sensitivity

24- لماذا نحمي المولدات والمحولات

25- لماذا نستخدم الوقاية للقضبان الكهربائية.

26- لماذا يجب حماية الخطوط الهوائية لنقل الطاقة الكهربائية والكابلات أيضا.

27- لماذا نحمي قاطع الربط بين القضبان

28- أعطي الأسباب لاستخدام الوقاية الاتجاهية directional protection في الشبكات الكهربائية القومية.

ثانيا: أسئلة وتمارين متنوعة باللغة العربية

الورقة الأولي (أجهزة القياس) Sheet 1

1- تم تركيب محول تيار 5/300 A في دائرة 11 kV لها مقنن تيار قدره 300 A وكانت البردن بقدرة 10 VA علي الدائرة الثانوية لمحول التيار. معوقة الملفات الثانوية لمحول التيار هي 0.2 + j 0.2 Ω وفرعي التأثير المغناطيسي هما j 50 and 150 Ω أوجد:

أ) معوقة الملف الابتدائي

ب) حدود معوقة الملف الثانوي

ج) حدود تيار البردن

د) أقصى وأدني خطأ في تيار الثانوي

2- تم تركيب دائرة وقاية بواسطة محول تيار 5 A / 500 وبه الخطأ % 2 وذلك لوقاية خط نقل ثلاثي الطور جهد 110 kV بواسطة القاطع الخاص به. ملامس القاطع مفرد الطور يقفل تماما في مدة 1 ms ويفتح الدائرة خلال 4 ms . الوقت الأقصى المسموح به لفتح القاطع ثلاثي الطور هو 8 ms بينما عملية الفصل تستغرق عادة 30 ms مع خطأ قدره % 3 . إذا أخذ في الاعتبار أن overshoot لهذا المتمم هي 1 ms، أوجد:

أ) الضبط الزمني للمرحل نتيجة التغير في معاملات الشبكة الكهربائية

ب) الضبط الزمني للمتمم نتيجة خطا تشغيل ذات المتمم

ج) الضبط الزمني الصحيح

د) الضبط الزمني الفعال لدائرة الوقاية المعنية

3- دائرة وقاية تفاضلية تعمل من خلال محولي تيار 1 A / 100 وكانت خصائص العلاقة بين الجهد والتيار لهما خطية تماما بينما كان الأول يعمل بمعدل ارتفاع قدره 2 Ω والثاني بمعدل 3 Ω ونقطة تشغيل المرحل هي 10 V والمطلوب حساب الآتي:

أ) التيار المار في المرحل بصفة مستمرة

ب) التغير في تيار البردن إذا زاد الجهد بنسبة % 20 من المقنن

ج) معدل التغير في التيار مقابل التغير في الجهد المذكور

4- في شبكة كهربائية 220 kV بتوصيلة النجمة المعزولة تم تركيب محول جهد 200 VA له نسبة عدد لفات 220000 / 110 وذلك علي كل طور. وكانت معوقة الملف الثانوي تساوي 0.5 + j 1.2 k Ω وفرعي المغناطيسية 0.3 Ω و j 17 M Ω لهذا المحول مع اعتبار أن قدرة البردن هي 5 VA وذلك من اجل التأكد من قيمة الجهد المتبقي . المطلوب محاولة حساب قيمة الجهد المتبقي مع المنظومة غير المتماثلة.

5- في شبكة كهربائية جهد $66\ kV$ تم الاستعانة بمحولات جهد مفردة الطور بقدرة $150\ VA$ لكل واحد وعدد اللفات بنسبة $220000 / 110$، وكانت معوقة الملف الثانوي تساوي $0.5 + j\ 1.5\ k\ \Omega$ وفرعي المغناطيسية 0.2Ω و $j\ 14\ M\ \Omega$ مع اعتبار أن البردن ستكون بقدرة $2\ VA$ كي تبحث عن الجهد المتبقي. حاول حساب قيمة الجهد المتبقي عند عدم اتزان الأوجه.

6- في شبكة كهربائية $440\ kV$ بنظام النجمة المؤرضة تم تركيب محول جهد علي كل وجه بقدرة $200\ VA$ وبنسبة عدد لفات $440000 / 110$. إذا كانت معوقة الملف الثانوي تساوي $0.7 + j\ 1.4\ k\ \Omega$ وفرعي المغناطيسية $0.4\ \Omega$ و $j\ 15\ M\ \Omega$ واستخدم بردن $7\ VA$ للحصول علي الجهد المتبقي.

إذا كانت نقطة التعادل مؤرضة من خلال مقاومة نقية تماما $5\ \Omega$، المطلوب إيجاد الجهد المتبقي لحالة عدم اتزان الجهد علي الأطوار.

7- لمنظومة توزيع كهربائية $11\ kV$ بنظام النجمة المؤرضة مباشرة، تم تركيب محول جهد ثلاثي الطور بقدرة $50\ VA$ ونسبة عدد لفات $11000 / 110$. معوقة الملف الثانوي تساوي $0.6 + j\ 1.2\ k\ \Omega$ وفرعي المغناطيسية 0.2Ω و $j\ 19\ M\ \Omega$ حيث كانت البردن $2\ VA$ ومن ثم أوجد الضبط اللازم لحالات زوايا عدم اتزان الجهد بقيم (الجدول رقم 9-1):
أوجد الضبط الصحيح لحدود هذه الجهود

الجدول رقم 9- 1 : قيمة وزاوية الضبط المطلوبة

الطور	الجهد	الزاوية
الأول	*11*	0^o
الثاني	*10*	100^o
الثالث	*7*	200^o

8) تم تركيب محول جهد بقدرة $150\ VA$ ونسبة تحويل $66000 / 110\ V$ وذلك علي جهة الجهد الأعلي $66\ kV$ حيث يغذي بردن $10\ VA$ وكانت معوقة الملف الثانوي تساوي $0.5 + j\ 1.2\ k\ \Omega$ بينما يتم حساب فرعي المغناطيسية 0.2Ω و $j\ 17\ M\ \Omega$ بالنسبة إلي ناحية الثانوي.

المطلوب إيجاد:

أ) مقنن التيار الابتدائي

ب) المصهر *HRC* المناسب مقنن التيار الابتدائي

ج) مقنن التيار الثانوي

د) الخطأ في حدود التشغيل من الدائرة المكافئة

هـ) الخطأ إذا ما أهمل الجزء المقاومي النقي R

و) الرسم المتجهي إذا ما أهمل الجزء المقاومي النقي R

ي) الخطأ إذا ما كانت البردن مقاومة نقية R فقط مع الرسم المتجهي

9) وضع محول تيار *(300 / 5 A)* علي الدائرة الابتدائية لجهد *11 kV* له مقنن تيار *300 A*. إذا تم اعتبار أن التأثير المغناطيسي يتمثل فقط في مقاومة نقية بقيمة *140 Ω* وكانت البردن بمقنن *10 VA* كمقاومة نقية أيضا فالمطلوب هو تقدير ما يلي:

أ) المعوقة المكافئة للملف الابتدائي

ب) معوقة البردن بوحدات الأوم *Ω*

ج) الخطأ مع التيار الموجود بالدائرة

10) تم تركيب محول تيار (200 / 1 A) علي الجهد 66 kV بمقنن تيار 200 A حيث كانت معوقة التأثير المغناطيسي المكافئة بفرعيها هي 130 Ω و j 50 Ω والبردن مقنن 15 VA كمقاومة نقية. المطلوب تقدير الآتي:

أ) المعوقة المكافئة لدائرة محول التيار

ب) معوقة البردن بوحدات الأوم *Ω*

ج) قيمة الخطأ في التيار الفعال

11) ناقش مع الرسم أنواع الخطأ في قيمة التيار وفي زاويته التي تظهر في محولات التيار وقارنها مع تلك الحادثة في محولات الجهد. المطلوب التعقيب علي ما تراه في هذا الصدد.

12) تم استخدام محول تيار بمقنن *100/5 A* مع شبكة توزيع كهربائية مقننها 11kV , *50 Hz* وكانت القيمة الذروة للتيار هي *50 A* بثابت زمني قدره *0.12 s* ومطلوب إيجاد الجزء العابر من التيار الموجود.

13) تم الاستعانة بمحول تيار *500/ 5 A* علي كل طور من شبكة جهد عالي *220 kV* بذبذبة *50 Hz*، حيث كانت ممانعة المنظومة الكهربائية هي *3 mH* ومقاومة المنظومة هي *5 Ω*. المطلوب إيجاد التيار العابر بالدائرة الابتدائية عندما يحدث القصر في اللحظة 30^o .

14) قارن بين محولات التيار المستخدمة لدوائر الوقاية وتلك المستخدمة لأغراض القياس الكهربائي بالمحطات الكهربائية. يمكن جدولة المقارنة في شكل مبسط ويفضل الاستعانة بالرسم ما أمكن.

15) المطلوب بإيجاز شديد وفي نقاط مبسطة الفروق ما بين محولات التيار *CT* ومحولات الجهد *VT* المستخدمة لأغراض الوقاية في نظم القوي الكهربائية.

16) قارن بين استخدامات المصهرات في دوائر الوقاية لكل من محولات التيار *CT* ومحولات الجهد *VT*. المطلوب أيضا إذا ما كان ممكنا الإثبات الرياضي والذي يؤسس عليه هذا الاستخدام.

17) اشرح بالتفصيل أنواع الخطأ الحادثة في محولات القياس للتيار *CT* وللجهد *VT* وضع الصيغة الرياضية لتقدير هذا الخطأ . بين أيضا أسباب ظهور هذا الخطأ وضع حلا لكل خطأ منهم.

18) تم توصيل محول تيار بمقنن *500 / 5 A* علي دائرة جهد عالي *220 kV* لها مقنن تيار قدره *500 A* وكانت قدرة البردن عبارة عن *10 VA* المعوقة المكافئة للملفات الثانوية الخاصة بمحول التيار كانت بالتقريب بالقيمة *0.2 + j 0.2 Ω* ، وقد تم اعتبار قيمتي التأثير المغناطيسي لمحول التيار بالقيمتين *150 Ω* و *j 50Ω* ، ومن ثم المطلوب حساب:

أ) المعوقة المكافئة للملف الابتدائي

ب) حدود معوقة البردن بوحدات الأوم Ω

ج) أقصى وأدني خطأ في قيمة التيار الموجود بالدائرة

Sheet 2 الورقة الثانية (المتممات)

1- اشرح بالرسم الخصائص المختلفة لأنواع الكاشفات المستخدمة في الدوائر التكاملية الخاصة بالوقاية الآلية ثم أعطي مثالا يجمع أنواع الكاشفات كلها وهي تعمل معا في دائرة وقاية.

2- حاول وضع صيغة تقريبية لحساسية المتمم المحدد للمسافة

3- عرف العلاقة بين المنطقة الميتة ونوعية المتمم اللازم لحمايتها

4- بين خصائص المتمم المستخدم في نظام التدرج في الوقاية الزمنية

5- بين خصائص المتمم الرقمي وبين الفارق بينه وبين الكهروديناميكي

6- حدد نوعيات الدوائر الإلكترونية المتكاملة والتي تعمل كمتممات

7- ضع قواعد للعمل مع كاشف المستوي وحاول وضع صيغة رياضية تعبر عن أدائه الفعلي

8- استنتج رياضيا خصائص الكاشف التكاملي

9- عرف مقاومة الاتزان في الدوائر الثانوية مع المتممات الاستاتيكية

10- حدد نوعية عمل المتمم لتحقيق الحماية الإتجاهية في شبكات الكهرباء

11- أرسم دائرة فصل كاملة للمتمم الرئيسي Master relay الملحق بالقاطع الهوائي وللقاطع المتخلخل ولماذا نحتاج إلي المتمم الرئيسي

12- حدد أنواع التمييز في وقاية الشبكات الكهربائية القومية.

13- لماذا ظهرت المتممات الساكنة

14- عرف الضبط الزمني للمتمم وكذلك ضبط القيمة الفعالة لتشغيل المتمم

15- اشرح التمييز المرحلي في دوائر الوقاية

16- أشرح مبادئ الفصل الفوري مع أنواع المتممات المختلفة المستخدمة في دوائر الوقاية

الورقة الثالثة (وقاية المولدات) Sheet 3

1- في المولد الكهربائي (20 MVA - 11 kV) ثلاثي الطور بتوصيلة النجمة تمت حماية ملفات العضو الثابت بطريقة توازن التيار بواسطة محولات تيار 1200 / 5 A وكان أقل تيار عامل هو 0.75 A ومقاومة التأريض للمولد كانت 6 Ω .

أ) أحسب النسبة المئوية من ملفات العضو الثابت التي تقع تحت الحماية الفعلية بهذا الأسلوب إذا ما كان الجهد هو المقنن.

ب) أوجد أيضا الجز المحمي من هذه الملفات في الحالات الآتية:

i) إذا كانت المقاومة تأخذ القيمتين $R = 3 \;\&\; 12\ \Omega$ عند قيمة التيار 0.75 A

ii) إذا كان التيار العامل هو 1.0 , 0.5 A مع المقاومة. $R = 6\ \Omega$

ج) مطلوب التعقيب علي النتائج

2- تمت حماية ملفات العضو الثابت لمولد 80 MVA 66 kV ,ϕ 3 بطريقة ميرز برايز من خلال محولات تيار 12000 / 5 A وبقيمة تشغيل دنيا عبارة عن 0.75 A عندما كانت مقاومة التأريض لنقطة التعادل تساوي 9 Ω . أحسب النسبة المئوية من الملفات والتي تكون محمية فعلا إذا ما كان الجهد المقنن هو المحدد وقت التشغيل. أوجد أيضا الجز المحمي من الملفات في الحالات التالية:

أ) عند قيمة التيار 0.75 A والمقاومة من نقطة التعادل هي $R = 3 \;\&\; 12\ \Omega$.

ب) إذا كانت نقطة عمل المرحل هي 1.0 أو 0.5 A مع مقاومة تأريض $R = 6\ \Omega$

ج) مطلوب التعقيب علي النتائج

3- تمت حماية مولد كهربائي 50 MVA , 35 kV عن طريق اتزان التيار بالاستعانة بمحولات تيار بمقنن 2000 / 5 A.
تم تأريض نقطة التعادل الخاصة بالمولد من خلال مقاومة 7.5 Ω.

إذا كانت أقل قيمة لتشغيل المتمم هي 0.5 A أوجد النسبة المئوية من ملفات هذا المحول علي كل طور التي تقع خارج الحماية وتصبح في خطر عندما يكون العمل تحت الجهد المقنن.

4- مولد توربيني ثلاثي الطور جهد 6.6 kV له مقنن 2 MW , 0.8 p. f. وذلك لأكبر قدرة مستمرة للتحميل وله ممانعة قدرها 12.5 % وقع تحت الحماية بطريقة Merz Price (توازن التيار) مع تيار دوراني بالوقاية والذي تم ضبطه كي يعمل عند حدوث الخطأ أو القصر بقيمة لا تقل عن 200 A. المطلوب إيجاد قيمة مقاومة التأريض للمولد بحيث تقع نسبة 10 % فقط خارج منطقة الحماية الخاصة بالملفات.

5- تم تصميم دائرة وقاية لملفات العضو الثابت لمولد ثلاثي الطور بتوصيلة النجمة بقدرة 40 MVA وعند الجهد 11 kV باستخدام الطريقة التفاضلية بالاستعانة بمحولات تيار 1200 / 5 A وكان تيار التشغيل الأدنى للمتمم هو 1.00 A بينما كانت مقاومة تأريض نقطة التعادل الخاصة بالمولد هي Ω 12. المطلوب:

أ) حساب النسبة المئوية من الملفات والتي تقع تحت الحماية

ب) حساب النسبة المئوية من الملفات والتي تقع تحت الحماية في الحالات التالية:

i) إذا كان التيار الفعال للمتمم بقيمة 0.75 A مع حالتي المقاومة التأريضية لنقطة التعادل الخاصة بالمولد تساوي $R = 3 , 18 \ \Omega$

ii) إذا كان تيار تشغيل المتمم هو 1.5 , 0.5 A مع مقاومة تأريض المولد Ω $R = 10$

ج) مطلوب التعقيب علي النتائج

6- استخدمت الوقاية التفاضلية لحماية ملفات العضو الثابت لمولد كهربائي وكان المتمم له ضبط قيمة اللقط الأدنى (الغمز) minimum pick up بقيمة 0.15 A وكان الميل هو 12 %. خطا قصر أرضي قد حدث بقيمة مقاومة عالية بالقرب من نقطة التعادل بينما كان المولد محملا (الشكل رقم 9-1). أفرض أن نسبة محولات التيار كانت 400 / 5 A بدون أية أخطاء تحت ظروف القصر وأوجد ظروف العمل الفعال لدائرة الوقاية في هذه الحالة.

7- كانت معاملات مولد ثلاثي الطور 20 MVA موصل بتوصيلة النجمة بجهد 11 kV هي الممانعة التزامنية synchronous reactance بقيمة 2.5 Ω / phase وقيمة مقاومته 0.75 Ω/phase حيث تمت عليه الحماية للملفات من خلال الطريقة التفاضلية. أوجد الجز غير المحمي من ملفات المولد إذا ما تم تأريض نقطة التعادل بمقاومة قيمتها 0.5 Ω مع اعتبار أن المتمم يعمل عندما يخرج اتزان التيار عن قيمة الضبط وهي 25 % من الحمل الكامل للمولد.

8- ارسم رسما كاملا لمنظومة الوقاية الخاصة بمولد ثلاثي ملفاته متصلة بتوصيلة النجمة المؤرضة من خلال مقاومة مع الشرح لتوصيلات المتمم الرئيسي Master Relay كما بين بالرسم وضع دائرة المجال Field للمولد داخل هذه المنظومة

9- تم وضع حماية تفاضلية differential علي ملفات العضو الثابت stator winding لمولد كهربائي alternator حيث كان تيار اللقط الأدنى minimum pick up value هو 0.15 A . كانت خصائص المتمم تتبع نظام ميل الخط بقيمة 15 % مقاسا علي محورين الأفقي يمثل مجموع تياري التفاضل أما المحور الرأسي يعبر عن الفرق بينهم (بنفس الشكل العام للمسألة رقم 6). حدث قصر مع الأرض من خلال مقاومة عالية داخل الملفات الخاصة بالمولد. توزيع التيارات في شبكة الجهد العالي كانت 340 A علي جانب و 360 علي الجانب الآخر بينما كان مقنن محولات التيار المستخدمة هو 500 / 5 A ، والمطلوب هو تحديد ما إذا كان المتمم سوف يعمل مع هذه الظروف أم لا.

10- الحماية التفاضلية لمولد 11 kV مؤرض من خلال مقاومة 5 Ω حيث وضع الضبط setting لتشغيل المتمم عند القيمة 1.5 A داخل دائرة الوقاية الثانوية. كان مقنن محولات التيار هو 5 / 100. المطلوب حساب النسبة المئوية المحمية من ملفات المولد ثم مقارنتها مع حالة حماية 90 % من الملفات. مطلوب أيضا التعقيب.

11- تمت حماية مولد 50 MVA ثلاثي الطور بجهد 33 kV بطريقة ميرز برايز Merz Price بالاستعانة بمحولات تيار بمقنن 2000 / 5 A ، كانت مقاومة تأريض المولد هي Ω 10 وكانت القيمة الأدنى للتيار الفعال relay minimum operating current هي 0.5 A. المطلوب تحديد النسبة المئوية من ملفات العضو الساكن للمولد التي ستكون آمنة ضد القصر مع الأرض عند تشغيل الجهد المقنن.

12- مطلوب رسم كهربائي كامل لمنظومة وقاية متكاملة لمولد كهربائي كبير مزدوج الملفات بكل طور ثلاثي الطور بتوصيلة نجمة مؤرضة مع توضيح توصيلات المتمم الرئيسي Master Relay واعتبار أن المفاتيح الكهربائية في الدائرة من نوع الهواء المندفع تحت ضغط عالي مع توضيح دائرة الفصل كاملة. يمكن اختصار دوائر الوقاية في شكل صندوقي.

13- لدينا محطة توليد كهرباء بقدرة إجمالية *installed capacity* قدرها 100 MVA وتتكون من الأجزاء الرئيسية الآتية:

أ) عدد 4 مولدات 20 MVA , 33 kV لكل منها

ب) عدد 3 مولدات 10 MVA, 11 kV لكل منها

ج) عدد 4 مولدات MVA 20 علي جهد kV 11 لكل منها

المطلوب تصميم الرسم الخطي لهذه المحطة ومن ثم إسقاط نوعيات الحماية المطلوبة في شكل صندوقي.

14- ارسم المتمم الرئيسي ودائرته كاملة لقاطع كهربائي من نوعية الهوا المندفع Air Blast محددا بها أطراف التوصيل وموضحا بها ملفات الفصل والتوصيل اليدوي التلقائي.

15- تم توصيل منبع جهد متماثل ثلاثي الطور متصل بالأرض مباشرة علي أربعة خطوط نقل ثلاثية الطور بنظام أربعة أسلاك. أحسب التيارات في كل طور إذا ما حدث قصر بين طورين عند نهاية الخط بينما الطور الثالث حدث عليه قصر مع الأرض في نفس اللحظة.

16- مولد كهربائي ثلاثي الطور مؤرض مباشرة (بدون مقاومة) رباعي الأسلاك يعمل بدون حمل عند الجهد المقنن 11 kV مقاومته الموجبة هي Ω 3 j والسالبة هي Ω 2 j أما الصفرية فكانت Ω 1 j والمطلوب حساب التيارات في جميع الأسلاك والجهود علي الأوجه غير القصرية عندما يحدث قصر بين طورين مع الأرض عند أطراف المولد.

17- قارن بين وقاية المولد والمحرك

18- هل نحتاج إلي قاطع عند تأريض نقطة التعادل لمولد في الشبكة الكهربائية ولماذا وهل من الممكن إثبات ذلك رياضيا وكيف؟

19- هل العبارة صحيحة : متمم الجهد الأدنى يعتبر صورة عكسية للوقاية ضد زيادة السرعة للمولدات. المطلوب التعقيب علي الإجابة

الورقة الرابعة (وقاية القضبان والخطوط) Sheet 4

1- أرسم منظومة وقاية كاملة لوقاية القضبان المزدوجة علي الجهد kV 220 إذا كان متصلا بثلاثة خطوط ومحول واحد. إذا حدث قصر بين طورين علي القضبان وأوجد حالات تشغيل المتمم المستخدم في هذه الحالة.

2- الأجزاء المغذية في المنظومة (الشكل رقم 9- 1) تكون سريعة الفعل بينما للوقاية الاحتياطية الزمنية للقاطع رقم 6 و 7 المغذيين للمحولات للتأكد من سلامة اختيار الجهة التي بها القصر من جهد kV 10 ومن ثم المطلوب حالات الفصل في كل من الأوضاع الواردة أدناه:

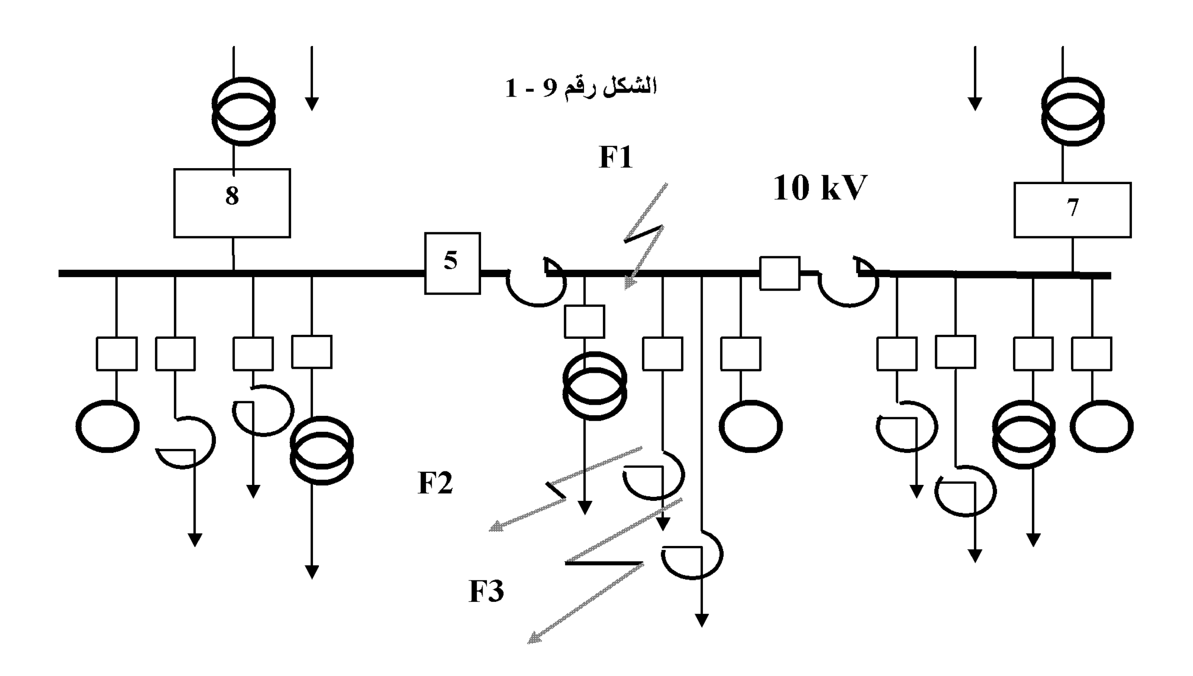
أ) القصر عند F1 (منطقة الفصل الفوري)

ب) القصر عند F1 (منطقة ليست بالفصل الفوري)

ج) القصر عند F1 (منطقة ليست بالفصل الفوري أثناء فصل المفتاح رقم 1)

د) القصر عند النقطة F2

3- هل من الممكن تركيب منظومة وقاية للقضبان في القطاع رقم 3 للدائرة المعطاة ؟



4- احسب معامل الحساسية لمنظومة الوقاية التفاضلية والمختصة بالجزء الأوسط لقضبان 10.5 kV بناء علي التيار المنطلق في الدائرة الابتدائية للشكل المبين. أعطي درجة للحساسية لكل خطوة عندما تكون النجمة غير مكتملة (مفتوحة) والجدول يعرض قيمة التيار الابتدائي (الجدول رقم 9-2):

الجدول رقم 9- 2: التيارات بالدائرة (القيمة بالكيلو أمبير)

الحالة	مجموع التيارات علي الجزء			أقصي تيار قصر عند النقطة			أقل تيار قصر عند النقطة		
النقاط	L	mid	R	F1	F2	F3	F1	F2	F3
الأولي	1.8	2.16	2.2	50	15	12	38	13.7	11.2
الثانية	2.16	1.8	2.2	55	13	16	34	11.3	13.5
الثالثة	3.7	4.2	3.6	75	12	12	60	11.5	11.5
الرابعة	4.2	3.6	3.7	70	18	16	50	16.3	14.7

القواطع لكل أجزاء الشبكة الكهربائية (الخطوط – محول الخفض) لن تحتسب لقطع الدائرة وقت القصر. أثناء فتح أحد أجزاء القضبان سيتم توزيع التيارات بين الأجزاء الأخرى بالتساوي. خلال حسابات التيار للمرحلة الأولى لوقاية القضبان (ما عدا القصر بعد الممانعة أو محول الخفض) وجميع التيارات العاملة علي الجزء من القضبان يجب أن تدخل في الاعتبار. هكذا من الممكن أن تتوقف المحركات بعد وقت القصر ومن ثم تيارات الفصل tripping currents يمكن أن تعتمد معامل أكبر بقيمة 1.3، ولكن بعد الفصل يجب أن تتوقف المرحلة الثانية بمعامل التيار الاحتياطي للمتمم 0.85. المرحلة الثانية بالنسبة للجزء غير المصاب من القضبان يجب أن تحسب عندما نفصل أحد الأجزاء ولكن معامل الفرملة الذاتية في هذا النطاق سيكون مساويا 2.5 ومعامل الاعتمادية لهذا الاختيار مهمل، وأثناء التأكد نجد أن حساسية التيار يجب ألا تدخل في الاعتبار

(معامل الحساسية للمرحلة الأولي يجب أن يكون أكبر من 1.5 وللمرحلة الثانية أكبر من 1.2. مجموع التيارات في الأجزاء المصابة عند النهايات العظمي لها (أقصى وأدنى) قد جاءت في الجدول عند جهد 10.5 kV

5- بين بالتفصيل الأنواع المختلفة المستخدمة في الوقاية المسافية وارسم خصائص التشغيل لكل منها ومع التعقيب

6- هل الوقاية المسافية مطلوبة للكابلات؟

7- قارن بين متممات الممانعة ومتممات الموه لوقاية الخطوط مع شرح خصائص كل منها

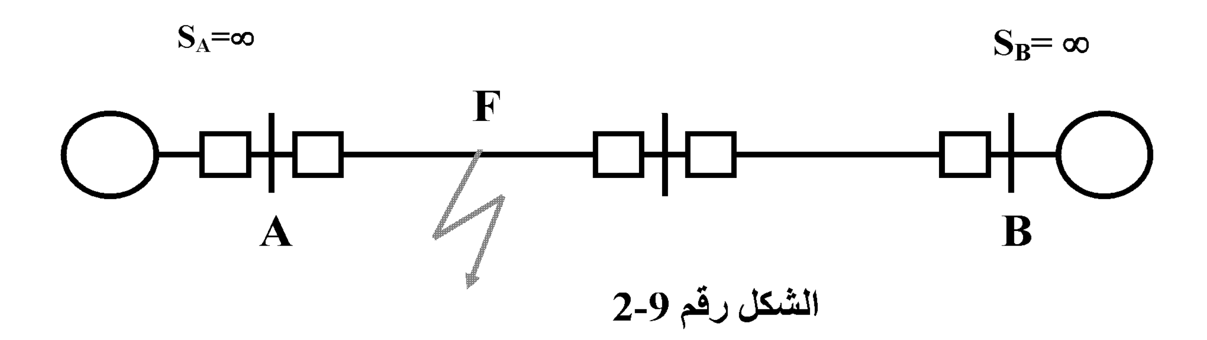
8- قارن بين متممات الممانعة ومتممات الأوم لوقاية الخطوط مع شرح خصائص كل منها

9- قارن بين الأنواع الثلاثة لأداء الوقاية المسافية ثم اختر أفضلهم للعمل في وقاية خطوط النقل علي الجهد الفائق

10- تم اختيار الوقاية التفاضلية للحماية ضد القصر بين طورين وتم التوصيل علي العزم عند 90^o تبعا لمعادلة العزم

$$T = K \; V_r \; I_r \; \cos \phi_r \qquad (9\text{-}1)$$

إذا ما حدث قصر عند النقطة F بين الطورين A & B فيجب التأكد من صلاحية المعادلة المذكورة للوقاية. المعوقات الموجبة والسالبة للخط عند نفس النقطة هي 4 and 3 , 2 , 1 بينما يمكن إهمال التيارات الخاصة بالحمل (الشكل رقم 9-2)



الشكل رقم 9-2

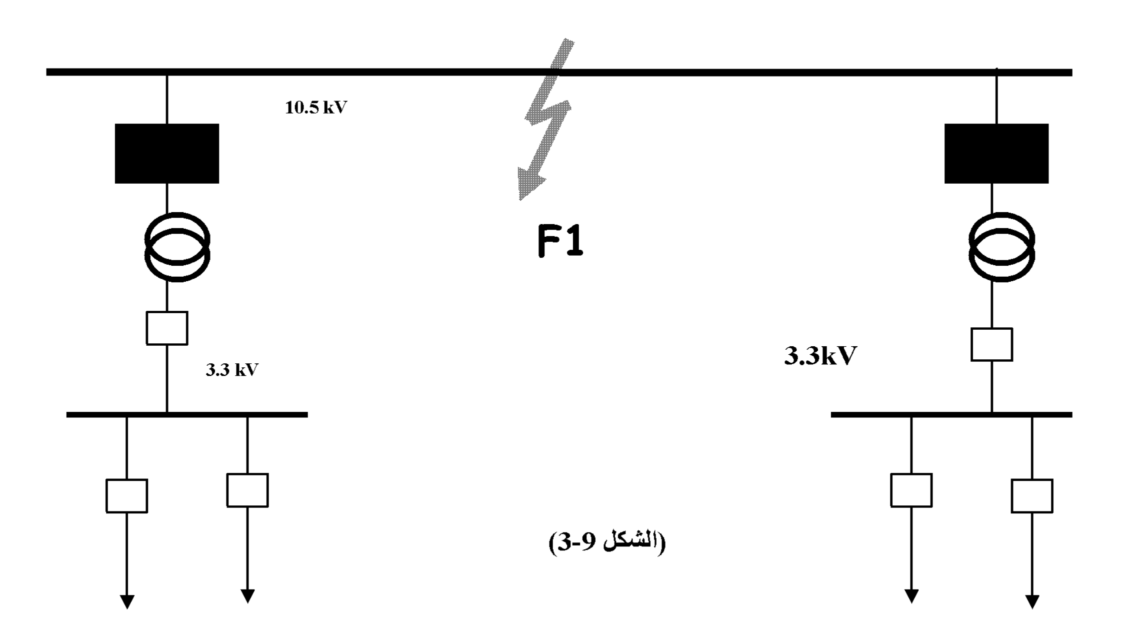
11- المطلوب التأكد من إمكانية تركيب متمم آلي لوقاية الخط إذا كان التيار الأقصى لتشغيله هو $I_{max} = 200$ A والتيار الأدنى للقصر علي حدود المنطقة المحمية هو 1.1 kA بشرط أن يتم فصل الخط في مدة لا تتجاوز 0.1 second خصائص المحول معطاة في الشكل.

12- أرسم منظومة وقاية كاملة للقاطع الموجود في خلية ربط bus coupler بين القضبان

13- أرسم منظومة الوقاية كاملة للقضبان المزدوجة جهد 220 kV باستخدام الوقاية التفاضلية Merz Price حيث أن القضبان مجزأة علي جزأين sectionalized double bus bar system

Sheet 5 الورقة الخامسة (وقاية المحولات)

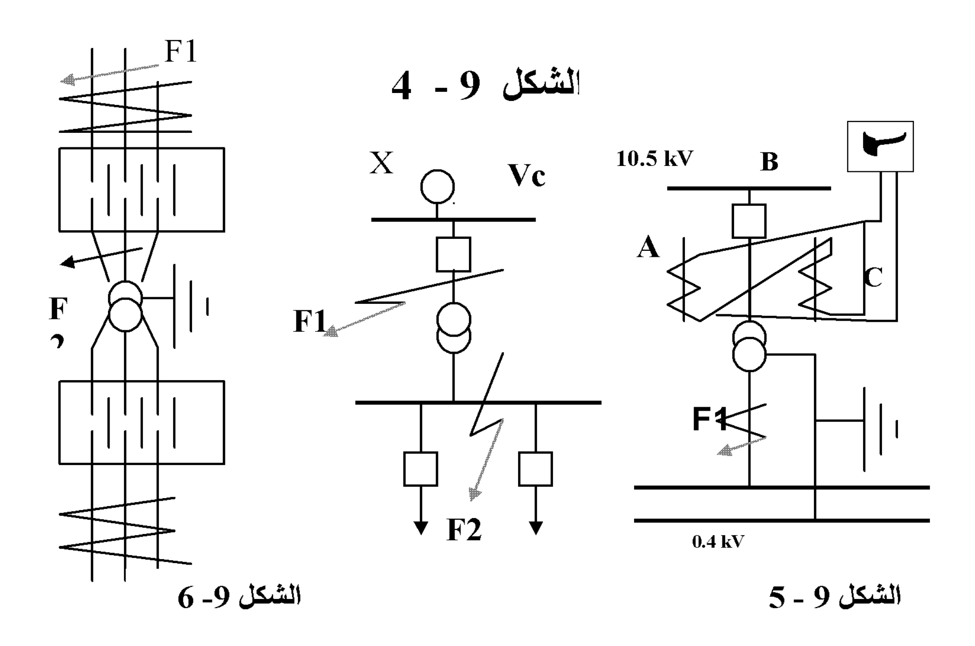
1- في محطة محولات تم توصيل محولين 11/3.3 kV علي القضبان 10.5 kV حيث كانت قدرة المحول الأول 5.6 MVA عند جهد قصر % 10.5 والآخر 3.2 MVA عند % 8 . الرسم الخطي معطي في الرسم وكان تيار القصر في الأطوار الثلاثة عند النقطة F_1 هو 6 kA. المطلوب التأكد من احتمالات الفصل من خلال وقاية زيادة التيار بطريقة الجهد المتبقي (النجمة المفتوحة) كوقاية للمحول حيث أقل معامل حساسية أثناء القصر بالمنطقة إلي أن يكون المحول ليست أقل من 2. في الحسابات للتيار الفعال يكون معامل الاعتمادية مساويا 1.4 (الشكل 9- 3)



(الشكل 9-3)

2- تم توصيل محول خفض له ممانعة X_t علي القضبان مع X_c عند جهد V_c وتبعا لما هو مبين في الرسم (الشكل 9- 4) المطلوب إيجاد العلاقة بين معوقة الشبكة وممانعة المحول عند الفصل التلقائي لوجود قصر عن طريق النجمة المفتوحة مع بينما معامل الحساسية يجب ألا يقل عن 2.

3- تم تركيب الوقاية الحرارية لمحول قدرة 30 MVA / 120 / 125 علي جهد 11 kV / 66/ 220 والمطلوب رسم دائرة الوقاية الحرارية كاملة لجزأيها (الإنذار والفصل)



الشكل 9- 6

الشكل 9 - 5

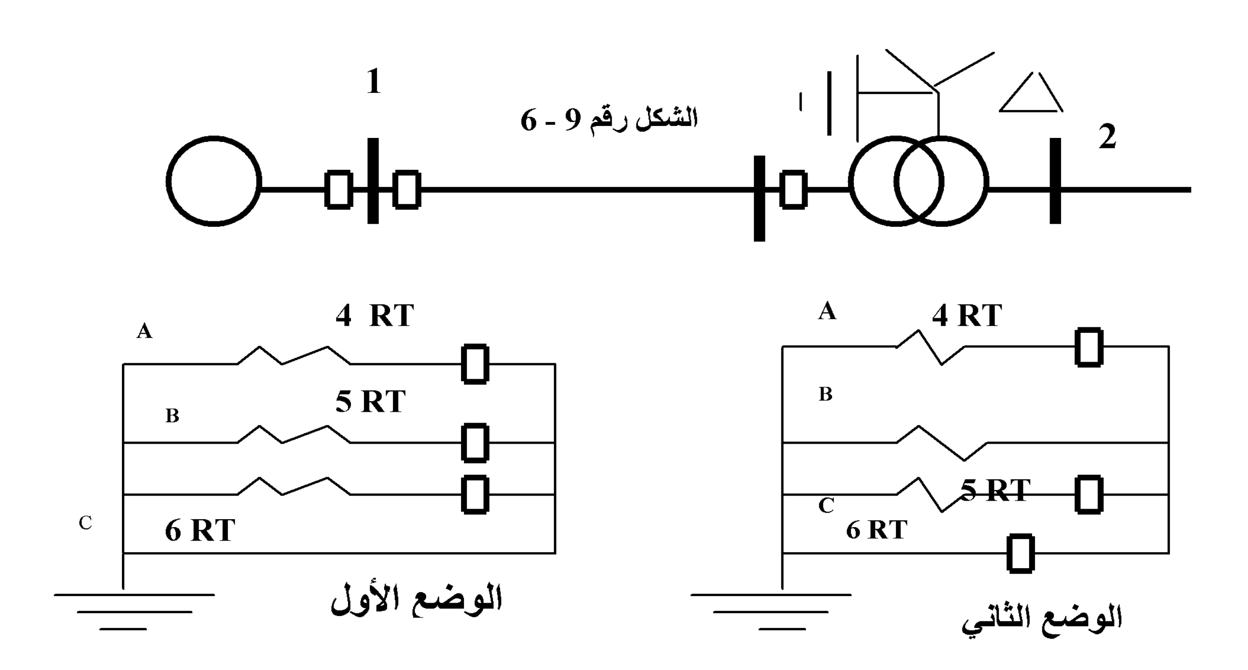
4- محول خفض 10.5/0.4 kV وملفاته موصلة نجمة / نجمة مؤرضة ويعمل في نظم القوي بثلاثة أطوار مع السلك الرابع (نقطة التعادل) كما هو موضح بالرسم. المطلوب أن يتم الفصل التلقائي نتيجة خطأ اتصال أحد الأطوار مع الأرض أو مباشرة علي السلك الرابع من الجهد المنخفض حتى القضبان 0.4 kV . تم تركيب وقاية زيادة التيار الأقصى علي الجهد العالي للمحول تبعا لحالة الاتزان في الأوجه علي الأطوار A & C عند القصر بالنقطة F1 . (1 ph. – earth) حيث النسبة بين التيار الفعال لزيادة التيار وأدني قيمة تيار قصر في الطور (under current) بجانب محطة التوليد تساوي ثلاث مرات معامل الحساسية. هل من الممكن أن ترفض الفصل التلقائي من المحطة إذا ما حدث قصر علي الجانب الآخر من المحول من نوعية قصر الطور مع الأرض. (الشكل رقم 9- 5)

5- في الشكل 9- 6 تم استخدام الوقاية التفاضلية لمحول قدرة بتوصيلة دلتا / نجمة مؤرضة ويلزم المقارنة بين تأثير الحساسية ، في دائرة الوقاية الثانوية، للحالتين من الخطأ أي عند النقطة F1 وعند النقطة F2 عندما يحدث قصر طورين داخل وخارج منطقة الوقاية التفاضلية. افرض أن التيارات الثانوية متماثلة تماما بدون أية إضافات للدائرة.

6- أرسم دائرة التيار المستمر d. c. كاملة لجهاز الوقاية الغازية Buchholze device الخاص بالمحولات

7- محول خفض بقدرة 100 kVA وله جهدين هما 3.15 / 0.4 kV رباعي الأسلاك وملفاته موصلة نجمة مؤرضة / نجمة مؤرضة وقد تم تركيب وقاية زيادة التيار علي جانب الجهد الأعلى من المحول علي حساب جهد قصر بقيمة % 8 كما انه تم وضع محولي تيار فقط علي الطورين A and C فقط. أختر شكل التوصيل المناسب لملفات محولات التيار لتضمن الحماية ضد القصر بمعامل حساسية لا يقل عن 1.5 أثناء القصر لطور واحد مع الأرض علي جانب الجهد الأدنى للمحول في منطقة 0.4 kV مع اعتبار أن الممانعة الصفرية بقيمة 5 Xt وأن تيار القصر يعادل ضعف مقنن التيار للمحول.

8- استخدمت حماية زيادة التيار عند النقطة علي الرسم المبين للشبكة الكهربائية (الشكل رقم 9- 7) حيث التيار الهائل إلي الأرض والمطلوب تحديد أي من التوصيلات هي الأكثر حساسية للقصر عند النقطة 2 للقيم المختلفة من الأحمال علي الخط المحمي. تيارات القصر المختلفة قد جدولت في الجدول رقم 9- 2. باعتبار أن قيمة إعادة الوضع reset value هي 0.85 والمطلوب تحديد الأفضل.



الجدول رقم 9 - 2: مركبات التيار للأحمال المختلفة مع حدوث القصر (القيمة بالكيلو أمبير)

Case	Faulty Point	(a) Variant	(b) Variant	variant (c)
Line load	-	420	160	420 A
single phase Short circuit	At point (1) At point (2)	5 1.7	3.8 1.2	0.8 0.63
Double phase to earth s. c.	At point (1)	$I_1 = 10$ $I_2 = 3$ $I_o = 7$	$I_1 = 8.4$ $I_2 = 5.2$ $I_o = 3.2$	$I_1 = 1.7$ $I_2 = 1$ $I_o = 0.7$
Double phase to earth s. c.	At point (2)	$I_1 = 3.8$ $I_2 = 2.3$ $I_o = 1.5$	$I_1 = 2.3$ $I_2 = 1$ $I_o = 1.3$	$I_1 = 1.17$ $I_2 = 0.3$ $I_o = 0.85$
Distribution of current (Io %)	At point (1) At source side	98	90	50
Distribution of current (Io %)	At point (2)At transformer side	15	70	87

9- أرسم دائرة وقاية كاملة للمحول ضد ارتفاع درجة الحرارة temperature rise

9-2: نماذج إمتحانات Examinations

I- امتحان أعمال السنة

أجب علي الأسئلة التالية بوضع علامة × أمام العبارة الخطأ وعلامة ✓ أمام العبارة الصحيحة:

1- مركز التحكم يعمل تابعا لمحطة التوليد

2- أجهزة الوقاية هي التي تتحكم في جهد تشغيل القضبان BB

3- زمن الفصل التلقائي لحماية تجاوز الحمل أسرع من حماية زيادة التيار

4- زمن فصل القصر بين طورين أسرع من زمن فصل القصر بين طورين والأرض

5- الفصل الفوري يعني الفصل في زمن قدره صفر

6- البردن Burden هي معوقة المتمم

7- دائرة الفصل Tripping تعمل بالتيار المتردد وهي أول دوائر الوقاية

8- يستخدم محول الجهد السعوي في محطات المحولات بشبكات التوزيع الكهربائية.

9- قيمة المقاومة الممثلة للتأثير المغناطيسي في محولات التيار أكبر من نظيرتها في محولات الجهد

10- يمكن الاستعانة بمحول جهد بتوصية نجمة دلتا لقياس الجهد المتبقي

11- يكفي وضع متمم الوقاية من زيادة التيار علي جانب الجهد العالي فقط

12- تتم وقاية محولات الجهد بوضع مصهر جهة ملفات الجهد العالي فقط

13- تستخدم محولات التيار للقياس والوقاية والتحكم في المعدات والأجهزة بالشبكات الكهربائية

14- يوضع محول الجهد عن نهايتي كل خط نقل كهربائي

15- المتممات الديناميكية أسرع من المتممات الساكنة

16- كاشفات المستوي جزء لا يتجزأ من المتممات الديناميكية

17- يستخدم نوع البوابة الكهربائية التي تعمل علي أعلي جهد لحظي في دوائر الوقاية

18- نقطة عمل الكاشف بمبدأ المستوى تكون في منطقة الركبة من خصائص تشغيل محول الجهد

19- من الأفضل التعامل مع الشكل الموجي للتيار عند التعامل مع دوائر الوقاية الرقمية دون تحويلها إلي شكل آخر

20- عند ضبط المتمم علي قيمة الضبط تكون هي المقابلة للتيار الأقصى في الشبكة الرئيسية

II: امتحان أعمال السنة الأول

1- إذا كان لديك مصنع يحتوي علي 5 عنابر متجاورة ومتلاصقة، وكل عنبر بأبعاد 20 m × 80 m بارتفاع 4 m ونحتاج إلي وضع شبكة إنذار حريق للمصنع بعنابره الخمسة وكان من خصائص كاشف الدخان (وسعره 5 دينار) أنه يناسب هذا العنبر. المطلوب حساب التكلفة الكلية لهذه الشبكة إذا كانت المسافة بين كل كاشفين هي 5 متر ويستخدم في التوصيلات أسلاك $0.25\ mm^2$ (بسعر 1 دينار/ 100 m) كما أن الربط هذا يحتاج إلي وحدات تحكم فرعية بسعر 100 دينار للوحدة وهناك أيضا وحدة تحكم رئيسة بسعر 200 دينار. المطلوب أيضا رسم الرسم الخطي للتوصيلات الثانوية الخاصة بشبكة إنذار الحريق ككل ولكل عنبر علي حدة. هل التكلفة التي وصلت إليها هي الأقل أم لا ولماذا.

2- إذا كان لديك مدخل للوحة توزيع رئيسية في مصنع بمقنن 150 A وعليك أن تختار بين قاطعين الأول هو 200 A، 20 kA والثاني هو 300 A ، 15 kA فماذا تختار ولماذا وبين بالرسم والحساب كيف يتم الاختيار. مطلوب التعقيب علي المزايا والعيوب في الاختيار.

3- إذا كان لديك مدخل لوحة توزيع رئيسية في مصنع بمقنن 200 A وعليك أن تختار بين قاطعين الأول هو 200 A، 10 kA والثاني هو 300 A ، 15 kA فماذا تختار ولماذا وبين بالرسم والحساب كيف يتم الاختيار. مطلوب التعقيب علي المزايا والعيوب في الاختيار.

4- إذا كان لديك مدخل للوحة توزيع رئيسية في مصنع بمقنن 150 A وعليك أن تختار بين قاطعين الأول هو 200 A، 20 kA والثاني هو 300 A ، 30 kA فماذا تختار ولماذا وبين بالرسم والحساب كيف يتم الاختيار. مطلوب التعقيب علي المزايا والعيوب في الاختيار.

III - المعهد العالي للهندسة إمتحان مادة هك 521

(حماية أنظمة القوي) الزمن: 3 ساعات (يوليو 2006)

By Prof. Dr. Mohamed Hamed

يمكن فرض أية بيانات مطلوبة في الحل

أجب علي الأسئلة التالية:

السؤال الأول:

تم تركيب محول تيار 5/500 A علي جهد 11 kV وكان التأثير المغناطيسي هو 150 + j50 Ω وكانت البردن 10 VA والمطلوب تحديد معوقة الثانوي ثم تحديد الخطأ في الحالات الآتية:

1- حالة تغيير البردن إلي 15 VA　　2- حالة تغيير البردن إلي 5 VA
3- إذا أهملت المقاومة المغناطيسية　　4- إذا أهملت الممانعة المغناطيسية

السؤال الثاني:

أرسم دائرة فصل تلقائي كاملة للمتمم الرئيسي Master Relay الملحق بالقاطع الهوائي مع استخدام نظام السلم للدوائر في رسم الدائرة الكهربائية.

السؤال الثالث:

تمت حماية مولد كهربائي ثلاثي نجمة 35 kV بمقنن 2 kA بأسلوب اتزان التيار (ميرز برايز) علي الملفات باستخدام محولات التيار بمقنن 2000 / 5 A كما تم تأريض نقطة التعادل من خلال مقاومة 7.5 Ω. إذا كانت اقل قيمة غمز pick up للمتمم هي 0.5 A أوجد النسبة المئوية من الملفات التي تكون في خطر لعدم دخولها في الحماية عندما يعمل المولد بالجهد المقنن.

السؤال الرابع:

إذا كان الضبط المرحلي لوقاية المسافة (بنظام المعوقة) علي خط نقل كهربائي هو 0.3 ، 0.7 ms علي مرحلتي 80 ، 120 % وكانت المقاومة المقاسة للقصر هي 0.97 p. u. وكانت معادلة المعوقة هي $R^2 + X^2 = 0.81$ والمطلوب تحديد ما إذا كان المتمم يفصل أم لا وإذا فصل ففي أي المراحل يفصل.

المراجع REFERENCES

أولا: المراجع العربية

1- أحمد ضياء القشيري (مجلة الكهرباء العربية): أشباه الموصلات في دوائر القوى الإلكترونية 1987(7) + تطبيقات الثايريستور في العمليات الصناعية 1988(13) + نظم الحماية في دوائر الثايريستور 1987(9).

2- آسر زكي، عبد المنعم موسى: حماية منظومات توزيع القوى الكهربية.
المرحلة التفاضلية للوقاية من التسرب الأرضي – دراسة - مجلة الكهرباء العربية – 1999(51).

3- عبد المنعم موسى: تأريض الشبكات الصناعية والتجارية - مجلة الكهرباء العربية – 1999(49).

4- علاء رشوان: السلامة الكهربية في المصانع – مجلة الكهرباء العربية – 1999(55).

5- كاميليا يوسف محمد: الوقاية في الشبكات الكهربائية ، الطبعة الثالثة – 2013.

6- مجلة الكهرباء العربية – 2014.

7- محمد خضير: الموسوعة الكهربية وهندسة الحمايات الكهربية - 2014.

8- محمد حامد: التركيبات الكهربية – الهيئة العامة للأبنية التعليمية – القاهرة – 1998.

9- التقرير الاحصائى لهيئة القطاع العام لتوزيع القوى الكهربية (لعام 1990- 1991).

10- أساسيات الهندسة الكهربية الجزء الأول: تأليف هايتز جراف، ترجمة م. إدوار يوسف، م. أمين قاسم سليم تحت إشراف د .م / أنور محمد عبد الواحد.

ثانيا: المراجع الأجنبية

11- J. Lewis Blackburn: Protective Relaying – Principle & Application, Book.

12- D. W. Borst & F. W. Parrish: Voltage Control By Means Of Power Thyristors.

13- N. Chernobrovov: Protection Relaying, Mir, Moscow, 2014.

14- Electrical Apparatus for explosive gas atmosphere with type of protection, DIN VDE 0165/VDE 0170 & 0171 section 16/05.98

15- Charles A. Gross: Power System Analysis, John Wiley & Sons, New York, 2013.

16- M. Hamed &I Hamed:"ELECTRIC DISTRIBUTION NETWORKS", Lambert Academic Publishing (LAP), Germany, Nov. 2011, ISBN-13: 978-3846555323 ISBN-10: 3846555320

17- Rashad Mohammedeen Kamel, Aymen Chaouachi, and Ken Nagasaka: Comparison the Performances of Three Earthing Systems for Micro-Grid Protection during the Grid Connected Mode, *Smart Grid and Renewable Energy*, 2011, 2, 206-215

18- T S Madhava Rao: Power System Protection, Static Relays. TATA McGraw Hill – New Delhi, 2013.

19- Abdalla Moselhy: Integrated Circuits, Zagazig, Egypt, 1999

20- L. E. Nickels: Power Control & Conversion, 2013.

21- K. R. Padiyar: HVDC Power Transmission Systems Technology & System Interactions, Wiley Eastern Limited, 2012.

22- Sunil S. Rao: Switch Gear & Protection, 1992

23- B. Ravindranath, M. Chander: Power System Protection & Switch Gear, 2013.

24- A. N. Sarwade, P. K. Katti, J. G. Ghodekar: A New Adaptive Technique for Enhancement of Zone-2 Settings of Distance Relay, *Energy and Power Engineering*, Volume 4 Number 1 January 2012, 1-52

25- M. G. Say: Alternating Current Machines, 2006.

26- Robert W Smeaton: Switchgear & Control Hand Book.

27- Shensheng Tang: Traffic Modeling of a Finite-Source Power Line Communication Network, *Smart Grid and Renewable Energy*, 2011, 2, 261-270

28- Helmut Ugarad, Wilibald Winker, and Rzej Wiszniewski: Protection Techniques in Electrical Energy Systems.

29- User Manual & Technical Description: ABB Network, Part New.

No. 2007 / 9154
ISBN 977 – 17 – 4635 - 9